

अणूचे अंतरंग

जयंत फाळके

विज्ञानवाहिनी, पुणे

अणूचे अंतरंग

©जयंत फाळके

प्रकाशक:

डॉ. मधुकर देशपांडे

विज्ञानवाहिनी,

(सार्वजनिक न्यास नोंदणी क्रमांक ई-२०२४)

७०१, ब, 'क्षितीज', सहकारनगर नं. २,

पुणे ४११ ००९

फोन -०२०-२४२२ २१२७

मुखपृष्ठ व रचना:

संजय साळुंखे, दिशा क्रिएशन्स, पुणे

मुद्रक:

क्विक प्रिंटींग सर्व्हिसेस, पुणे

पहिली आवृत्ती: २५ ऑक्टोबर २००७

मूल्य: ८० रूपये

मुखपृष्ठावर- डाव्या बाजूस वरच्या फोटोपाशी सुरूवात करून घड्याळाच्या काट्यांच्या दिशेने डाल्टन, मेंडेलिफ, रुदरफोर्ड, बोहर



अर्पण पत्रिका

माझे वडील कै. श्री. वि. ह. फाळके हे विज्ञानशिक्षक होते. त्यांच्या रसायनाचा यशोदिप या पुस्तकाने मॅट्रिक्युलेशनच्या परिक्षार्थींच्या एका पिढीला मार्गदर्शन केले होते. हा काळ १९४२ ते १९४५ पर्यंतचा.

वैज्ञानिक साहित्य पुरवठ्याचा व्यवसायसुद्धा त्यांनी सुरु करून नावारुपाला आणला. अशिक्षित असुनही अतिशय हुशार असलेली माझी आई कै. श्रीमती शान्ता फाळके हिने माझ्या वडिलांच्या व्यवसायात फार मोलाची साथ दिली, किंबहुना तिच्या या साथीमुळेच त्यांचा व्यवसाय नावारुपाला आला.

अशा माझ्या आईवडिलांना हे पुस्तक मी अर्पण करीत आहे.

जयंत फाळके

ऋणनिर्देश

या पुस्तिकेचा आराखडा कसा असावा यासंबंधी सुयोग्य मार्गदर्शन करणारे माझे मित्र प्रि. गोपाल राजाराम बेळे...

लेखन सोपे आणि सुबोध कसे करता येईल या बाबतीत वेळोवेळी सूचना करणारे माझे मित्र डॉ. मधुकर देशपांडे, डॉ. जयंत लेले, डॉ. नवनीत गुजराथी, सौ. पुष्पा देशपांडे, श्री. शरद गोडसे, सौ. स्नेहल गोडसे, श्री. श्रीनिवास ताटके...

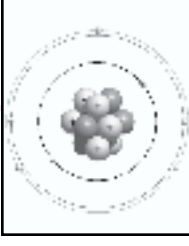
आणि ही पुस्तिका सर्व दृष्टीने सुंदर व्हावी यासाठी अथक परिश्रम घेणारे प्रा. संजय साळुंखे व सौ. पुष्पा देशपांडे...

या सर्वांचे आभार मानावे तेवढे थोडेच आहेत. यांच्या ऋणात मी कायमचा राहू इच्छितो.

जयंत फाळके

अनुक्रमणिका

१ भूमिका	६
२ पुरातन अणुसंकल्पना	९
३ डाल्टन आणि अणुप्रणालीचे पुनरुज्जीवन	१४
४ पदार्थाचे अणू आणि विद्युत अणू	२५
५ अणूचे अंतरंग आणि थॉमसनची अणुप्रतिकृती	३३
६ अणूची रुदरफोर्ड प्रतिकृती	३९
७ धर्मसंकट	४६
८ पदार्थाचे अणू आणि ऊर्जेचे अणू	४९
९ प्रारणे आणि वर्णपट (वर्णपंक्ती)	५६
१० युगप्रवर्तक बोहर	५९
११ प्रातिनिधिक अणू	६४
१२ अणुसंरचना	७०
१३ आवर्तसारिणी	८५
१४ पारिभाषिक शब्दांची सूची	९५



विज्ञान म्हणजे विशेषज्ञान! आपल्याभोवतीच्या निसर्गाचा व्यवहार समजून घेण्यासाठी वैज्ञानिक वृत्तीच्या लोकांनी निरीक्षणे, प्रयोग आणि विचार यांच्या साहाय्याने मिळविलेल्या ज्ञानाचा तो साठा आहे. स्वाभाविकपणेच विज्ञान हे कालाप्रमाणे वाढत व बदलत गेले आहे. त्यामुळे विज्ञान शिकताना थोडीफार ऐतिहासिक पार्श्वभूमी पाहणे आवश्यक ठरते.

विज्ञानातील कुठलीही संकल्पना 'दिव्यदृष्टी'ने प्रतीत होत नाही. जरी काही वेळा ज्यांना ती संकल्पना प्रतीत झाली त्यांचा तसा आग्रह असला तरी! तिच्यामागे वेगवेगळ्या वैज्ञानिकांनी वेगवेगळ्या पद्धतीने केलेली निरीक्षणे, प्रयोग व विचारचिंतन याची मालिका असते. ज्या चिंतनाचे किंवा विचारधारेचे निष्कर्ष निसर्गातल्या वास्तवाशी जुळतात, ती चिंतनप्रणाली वैज्ञानिकांत मान्य होते. इतर विचार किंवा चिंतनप्रणाली कमी दर्जाच्या असतात असे नव्हे. त्यांचे निष्कर्ष निसर्गातल्या वास्तवाशी जुळत नाहीत त्यामुळे त्या विज्ञानाचा भाग बनू शकत नाहीत.

आपल्या सोईसाठी आपण विज्ञानाचे भौतिकशास्त्र, रसायनशास्त्र, जीवशास्त्र इ. भाग करतो. या प्रत्येक भागाची सुद्धा विषयांमध्ये विभागणी करतो. उदा. गतिशास्त्र, प्रकाश, उष्णता, स्थितिज विद्युत्, चुंबकत्व इ. विषय भौतिक-शास्त्राचे भाग आहेत. रासायनिक अभिक्रिया, संयुजा, पदार्थाचे रासायनिक गुणधर्म इ. विषय रसायनशास्त्राचे भाग आहेत. शरीरविज्ञान,

प्रकाशसंश्लेषण (*photosynthesis*), पेशींची कार्यपद्धती इ. विषय जीवशास्त्राचे भाग आहेत.

तथापि, यातल्या प्रत्येक विषयाला 'अणुप्रणाली' ही पायाभूत आहे. भौतिकशास्त्र, रसायनशास्त्र आणि जीवशास्त्र यातल्या 95-96% घटनांच्या (*phenomena*) स्पष्टीकरणासाठी अणुसंकल्पना आणि अणुप्रणाली आवश्यक आहे.

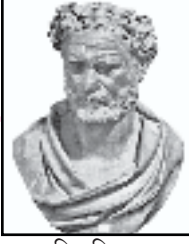
अत्याधुनिक स्वरूपातली अणुप्रणाली-पुंजशास्त्र (*Quantum Mechanics*) ही अतिशय क्लिष्ट आहे. आपण ऐतिहासिक काळापासून आजपर्यंत विकसित झालेल्या 'अणुप्रणाली' चा सोप्या आणि सर्वांना समजेल अशा पद्धतीने अभ्यास करणार आहोत. सामान्यज्ञान आणि विचारशक्तीचा माफक वापर हे आपले भांडवल असणार आहे. या भांडवलावर आपण कुठवर मजल गाठू शकतो ते बघू या.

हे लिखाण मुख्यतः माध्यमिक शाळांमधील विज्ञान शिक्षकांसाठी आहे. संकल्पनांशी झटापट करण्यात, वेगवेगळ्या पद्धतींनी संकल्पनांचा विचार करण्यात, एका संकल्पनेत अध्याहृत असलेली दुसरी संकल्पना स्पष्ट करण्यात, एक प्रकारचा बौद्धिक 'थरार' (*thrill*) आहे. या पद्धतीने या लिखाणातील विज्ञान त्यांनी समजून घ्यावे आणि त्यातल्या थरारकतेसह विद्यार्थ्यांपर्यंत पोहोचवावे अशी अपेक्षा आहे.

मराठीत उपलब्ध असलेल्या विज्ञानविषयक पुस्तकांमध्ये तंत्रज्ञानाचे व शास्त्रज्ञांच्या वैयक्तिक आयुष्याचे रोमांचीकरण (*Romanticization*) करण्याची पद्धत आहे. तंत्रज्ञान ही गोष्ट आवश्यक आहे; चांगलीही आहे, पण यःकश्चित वनस्पती सूर्याची ऊर्जा वापरून ज्या पद्धतीने प्रकाशसंश्लेषण करतात ती पद्धत अजूनही तंत्रज्ञानाच्या आवाक्यात आलेली नाही याची सुद्धा जाणीव ठेवायला हवी.

शास्त्रज्ञ ही माणसेच होती व आहेत. विज्ञानाशी संबंध नसलेल्या त्यांच्या वैयक्तिक अशा आवडीनिवडी किंवा जीवनविषयक श्रद्धा असू शकतील. स्पष्टीकरण किंवा सुलभीकरणासाठी त्यांनी अशास्त्रीय संकल्पनांचा वापर केला असेल. अशा प्रकारचे सर्वज्ञात विधान "God does not play dice with the Universe" हे आइन्स्टीनने केलेले आहे असे समजले जाते. हे वैज्ञानिक विधान नाही. हे त्यांचे वैयक्तिक मत आहे. शास्त्रज्ञांच्या वैयक्तिक श्रद्धा, मते, आवडीनिवडी यापेक्षा त्यांचा विज्ञानविषयक विचार हा महत्त्वाचा आहे याचे भान ठेवायला हवे. त्यांच्या महानतेची पावती त्यांचे देव्हारे माजवण्यात नाही तर त्यांचे विचार आपल्या कुवतीप्रमाणे समजून घेण्यात आहे ही साधी भूमिका या लिखाणामागे आहे.

जयंत फाळके



डिमाक्रिटस

इ.स.पूर्व 460-370

पुरातन अणुसंकल्पना

आपल्या भोवतालच्या सृष्टीतील आणि पदार्थांमधील विविधता अक्षरशः मति गुंग करणारी आहे. आपल्या घरातील टेबल, खुर्च्या, दरवाज्यांची दारे, दरवाज्यांच्या चौकटी, छपराला आधार देणाऱ्या तुळ्या या विविध वस्तू एकाच विशिष्ट पदार्थापासून, -लाकडापासून बनलेल्या आहेत. खिळे, हातोडी, रस्त्यावरचे विजेचे खांब, लोहमार्गाचे रुळ हे सर्व एकाच विशिष्ट पदार्थापासून -लोहापासून बनलेले आहेत.

पदार्थांच्या या विविधतेच्या मुळाशी मर्यादित असे काही विशिष्ट घटक असावेत हा विचार फार पुरातन काळापासून अस्तित्वात आहे. काही ग्रीक तत्त्वज्ञानी या विचारांची सुस्पष्ट मांडणी करण्याचा प्रयत्न केला तो थोडक्यात असा -

थेल्स (Thales): 'वेगवेगळे पदार्थ हे जल किंवा आप या एकाच मूलद्रव्याचे (*element*) वेगवेगळे आविष्कार आहेत.'

अॅनॅक्झिमेनस (Anaximenes): 'वायू हे एकच मूलद्रव्य आहे. पृथ्वीच्या अंतरंगात ते स्थायूरूपात असते, पृष्ठभागावर द्रवरूपात तर वातावरणात वायूरूपात. वर वर ग्रहताऱ्यांकडे जावे तसा वायू विरल होत जातो.'

हेराक्लिटस (Heraclitus): 'ज्या वस्तूत अतिशय सहजपणे बदल होतो ती वस्तू अग्नि (*Fire*) आहे; म्हणून विश्वाचे मूलद्रव्य अग्नि होय.'

एम्पिडोक्लिस (Empidocles): 'पृथ्वी (Earth) हे स्थायूंचा गुणधर्म असलेले मूलद्रव्य आहे. त्याशिवाय आप, अग्नि, वायू हीसुद्धा मूलद्रव्ये आहेत.'

अॅरिस्टॉटल (Aristotle) याने या सर्व कल्पनांचा समन्वय करून 'पंचमहाभूतांची' संकल्पना मांडली. ती अशी आहे.
- 'विश्वातले पदार्थ पृथ्वी, आप, तेज, वायू आणि आकाश (Ether) या पाच मूलद्रव्यांपासून बनलेले असतात.'

तसे पाहिले तर हे एक प्रकारचे 'वर्गीकरण'च आहे. पृथ्वी म्हणजे स्थायूमधील मूलतत्त्व, आप म्हणजे द्रवांमधील मूलतत्त्व, वायू म्हणजे वायूरूप पदार्थातील मूलतत्त्व, तेज किंवा अग्नि म्हणजे ऊर्जेमधील मूलतत्त्व आणि आकाश म्हणजे नभातील स्वयंप्रकाशी वस्तूंमधील मूलतत्त्व!

भारतीय इहवादी तत्त्वज्ञानात या पाचांबरोबर दिक्, काल, मन आणि आत्मा अशी आणखी चार मूलतत्त्वे मानली आहेत. सजीवांचा विचार करायचा म्हणजे मन आणि आत्मा आवश्यकच आहेत. पण दिक् (Space) आणि काल (Time) यांचा अंतर्भाव हा आधुनिक स्थलकालाच्या (Space-Time) संकल्पनेची झलक आहे असे म्हणायला हवे.

कणाद या भारतीय इहवादी तत्त्वज्ञाने 'पदार्थ अणूंचे बनलेले असतात' असे प्रतिपादन केलेले आहे. या प्रणालीमागचा भारतीय विचार नेमका काय होता व तो कसा विकसित झाला ही माहिती उपलब्ध नाही. पण सुमारे 2500 वर्षांपूर्वी ग्रीक तत्त्वज्ञ डिमॉक्रिटस याने 'पदार्थ अणूंचे बनलेले असतात' हा विचार फार सुस्पष्टपणे मांडला होता.

ल्युसिपस या ग्रीक तत्त्वज्ञाने असे मत मांडले की 'पदार्थाची विभाज्यता (Divisibility) सीमित असली पाहिजे.' पदार्थाचे

विभाजन करीत राहिलो तर विभाजनाच्या या श्रेणीमध्ये शेवटी अविभाज्य पदार्थ निष्पन्न होतील.

डिमाॅक्रिटसने पदार्थाच्या या अविभाज्य घटकांना 'अणू' (*atom*) हे नाव दिले आणि असेही म्हटले की, 'एका मूलतत्त्वाचे म्हणजेच मूलद्रव्याचे अणू दुसऱ्या मूलतत्त्वाच्या अणूपेक्षा आकारमानाने (*size*) आणि आकाराने (*space*) वेगळे असतात.'

'पदार्थ हे वेगवेगळ्या अणूंच्या वेगवेगळ्या प्रमाणातील संयोगातून बनतात. अशा या संयोगाचे स्वरूप बदलून एका पदार्थाचे दुसऱ्या पदार्थात रूपांतर करता येते.'

पदार्थाच्या अणुस्वरूपाची इतकी छान 'अणुप्रणाली' केवळ तर्काधिष्ठित होती. तिला प्रयोगाधिष्ठित पुरावा नव्हता. अॅरिस्टॉटल हा अतिशय प्रतिष्ठित आणि मान्यताप्राप्त तत्त्वज्ञ होता. पुराव्या अभावी डिमाॅक्रिटसची अणुप्रणाली त्याने अमान्य केली आणि आपली स्वतःची पंचमहाभूतांची संकल्पना पुढे दामटली. त्यामुळे डिमाॅक्रिटसची अणुप्रणाली पुढे दोन हजार वर्षे धूळ खात पडली होती.

साधारण सन 1600 पासून रसायनशास्त्राच्या अभ्यासकांमध्ये या प्रणालीच्या पुनरुज्जीवनासाठी आवश्यक ती मनोभूमिका तयार होत होती. प्येर गॅसेंडी (सन 1592-1655) या फ्रेंच तत्त्वज्ञाने डिमाॅक्रिटसची एपिक्युरस या तत्त्वज्ञाच्या लिखाणात आढळलेली 'अणुप्रणाली' परत प्रकाशात आणली. रॉबर्ट बॉईल (सन 1627-1691) हा गॅसेंडीच्या लिखाणाने प्रभावित झाला. 'अणुप्रणाली'च्या पुनर्स्थापनेसाठी त्यानेही एक प्रयोगसिद्ध विचार पुरवला. बॉईलच्या या विचाराचा परामर्श आपण दुसऱ्या प्रकरणात घेणार आहोत.

आता आपण 'पदार्थ अमर्यादपणे विभाज्य (*infinitely divisible*) नसावेत' ही संकल्पना कशी निर्माण झाली असावी याचा विचार करू. निरीक्षण आणि सामान्य विचार यांच्या आधारे आपण असे म्हणू शकतो की,

1. पदार्थ जागा व्यापतात, म्हणजेच एक विशिष्ट आकारमान (*volume*) व्यापतात. पदार्थाचे विभाजन हे पदार्थाचे घटक डोळ्यांना दिसण्याच्या मर्यादेपलिकडेसुद्धा करता येते. असे वाटते की पदार्थाचे घटक व्यापलेल्या आकारमानात अखंडितपणे (*smoothly*) आणि सघनपणे म्हणजेच दाटपणे (*densely*) विखुरलेले असतात.
2. पदार्थांना वस्तुमान असते. म्हणजेच पदार्थांच्या घटकांना वस्तुमान (*mass*) असते.
3. पदार्थांची घनता (*density*) म्हणजे वस्तुमान/आकारमान (*mass/volume*) ही राशी सीमित आहे. आपल्या अनुभवा प्रमाणे सोन्याची घनता खूप जास्त म्हणजे 19.3gm/cm^3 एवढी आहे.

या सर्व गोष्टींशी सुसंगत असेल असा सूक्ष्मपणाचा विचार आपण करू या.

भूमितीच्या अभ्यासात अमर्याद विभाज्यतेच्या संकल्पनेतून बिंदू (*point*) ही सूक्ष्मातील सूक्ष्म गोष्ट निष्पन्न होते. दोन बिंदू एका रेषेने (*line*) जोडल्यास त्या रेषेवरील बिंदूंची संख्या अनन्त किंवा अगणित (*infinite*) असते. कितीही छोट्या आकारमानात सामावणाऱ्या बिंदूंची संख्या अगणित असते.

पदार्थाचे सूक्ष्म घटक किती सूक्ष्म असतील? ते बिंदू इतके सूक्ष्म असतील कां? असायला हरकत नाही. कदाचित् नसतीलही. याचा निर्णय करण्यासाठी आपण असे मानू या की 'पदार्थाचे घटक

हे बिंदूइतके सूक्ष्म असतात.' हे विधान हे आपले गृहीतक आहे.
या गृहीतकानुसार

‘पदार्थाच्या कुठल्याही दोन घटकांच्या दरम्यान असलेल्या
घटकांची संख्या अगणित असेल तसेच पदार्थां
व्यापलेल्या कुठल्याही अतिसूक्ष्म आकारमानात अगणित
घटक सामावलेले हवेत.’

असे जर वास्तवात (निसर्गात) घडले म्हणजे अतिसूक्ष्म
आकारमानामध्ये वस्तुमान असलेले पदार्थांचे घटक संख्येने
अगणित असले तर पदार्थांची घनता (वस्तुमान/आकारमान) ही
राशी अमर्यादपणे मोठी-अगणित होईल.

हा निष्कर्ष आपल्या क्रमांक 3च्या निरीक्षणाशी पूर्णपणे विसंगत
आहे. तेव्हा आपले गृहीतक चुकीचे आहे असे म्हणता येईल.
म्हणजेच- ‘पदार्थांचे घटक’ अखंडितपणे जागा व्यापणारे व सघन
नसतात. कुठल्याही आकारमानातल्या पदार्थांच्या घटकांची संख्या
मर्यादित असते आणि हे घटक एकमेकांपासून विलग किंवा खंडित
(discrete) असतात. हे पदार्थांचे घटक म्हणजे अणू.’

ल्यूसिपस, डिमॉक्रिटस आणि कणाद यांनी पदार्थांच्या
स्वरूपाविषयी काढलेला हा निष्कर्ष साध्या नैसर्गिक तथ्यांपासून
सहजपणे पण अनिवार्यपणे निष्पन्न होतो. वैज्ञानिक संकल्पनांचे
सौंदर्य म्हणजे हेच! थोडक्यात काय,

पदार्थ अणूंचे बनलेले असतात.





जॉन डाल्टन
(1766-1844)

डाल्टन आणि अणुप्रणालीचे पुनरुज्जीवन

डिमॉक्रिटस किंवा कणाद यांच्या या तर्कशुद्ध 'अणुप्रणाली'चा सुमारे 2000 वर्षे रसायनशास्त्रात फारसा उपयोग झालेला किंवा केलेला आढळत नाही. त्यासाठी आवश्यक ती निरीक्षणे किंवा प्रयोग फारच तुरळक होते.

एखादा विचार 'प्रणाली' म्हणून मान्य होण्यासाठी दोन गोष्टी आवश्यक असतात.

1. उपलब्ध प्रायोगिक किंवा निरीक्षणात्मक माहितीचे सुसूत्रीकरण
2. माहिती नसलेल्या नवीन नैसर्गिक घटनांची (*phenomena*) भाकिते.

किमया (*Alchemie*) या नावाने ओळखल्या जाणाऱ्या रसायनशास्त्रपूर्व ज्ञानशाखेचा(?) अभ्यास इ.स. 600 पासून सुरू झाला होता. पण त्यात गूढता होती. आणि त्याची उद्दिष्टे होती ती म्हणजे परिसाची (*Philosopher's stone*) प्राप्ती आणि अमृताची (*Elixir of Life*) निर्मिती! त्यामुळे किमयेला फारशी प्रतिष्ठा नव्हती.

या तथाकथित रसायनशास्त्राच्या अभ्यासातली गूढता जाऊन खुलेपणा येईपर्यंत इ.स.1600 उजाडले. त्यानंतर या विषयाचा एक शास्त्रशाखा म्हणून शास्त्रशुद्ध अभ्यास सुरू झाला.

या संदर्भात रॉबर्ट बॉइल (इ.स. 1627-1691) याने आधुनिक अणुप्रणालीची नांदी ठरलेला असा कोणता विचार मांडला ते आधी पाहू या. बॉइलने वायुचा दाब कमीजास्त करण्यासाठी आवश्यक

अशा यंत्राचा, संकोचकाचा (*compressor*) शोध लावला. संकोचकाच्या साहाय्याने वायूवर वेगवेगळे प्रयोग करून त्याने बॉइलचा नियम (*Boyle's Law*) शोधून काढला. तो असा आहे—

‘एका विशिष्ट तापमानाला बंद भांड्यातील विशिष्ट वस्तुमानाच्या वायूचा दाब (*Pressure-P*) आणि वायूचे आकारमान (*Volume-V*) या दोन राशींचा गुणाकार *PV* स्थिर असतो.

$$PV = \text{Constant}$$

म्हणजे वायूच्या वस्तुमानात बदल न होता आकारमानात बदल होतो. स्पंज ही अशीच एक वस्तू आपल्याला माहिती आहे. स्पंज दाबला तर आक्रसतो आणि सोडून दिल्यावर परत मूळ आकार धारण करतो. कारण स्पंजाच्या घटक भागांमध्ये मोकळ्या जागा असतात. या मोकळ्या जागांमध्ये हवा असते ही आपल्याला आज माहिती असलेली गोष्ट क्षणभर बाजूला ठेवू या. मग आपले निरीक्षण काय सांगते?

‘पदार्थाच्या घटकांच्या दरम्यान मोकळ्या जागा असल्या तर पदार्थाचा संकोच होऊ शकतो.’

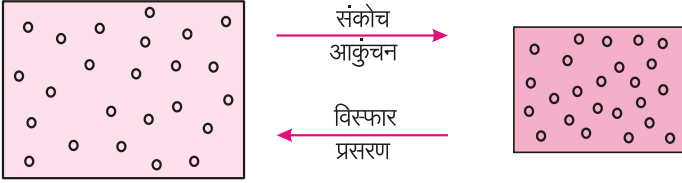
वायूंच्या स्वरूपाविषयी असा विचार करून आणि वायूवर वेगवेगळे प्रयोग करून बॉइलने असा निष्कर्ष काढला की,

‘ज्या अर्थी वायू संकोचतात (*contract*) किंवा विस्फारतात (*expand*) त्या अर्थी वायू अतिशय सूक्ष्म कणांचे बनलेले असावेत. हे कण एकमेकांपासून प्रचंड (कणांच्या आकाराच्या तुलनेने) अंतरावर असावेत. कणांच्या दरम्यान केवळ मोकळी जागा -निर्वात- असावी.’

ज्या आकारमानामध्ये पदार्थाच्या घटकांचा -अणूंचा- अभाव असतो अशा आकारमानास निर्वात (*vacuum*) असे म्हणतात.

हा विचार आपल्याला अणुप्रणालीकडे कसा नेऊ शकतो ते बघू या.

वाफ म्हणजे पाण्याचे वायुरूप!



एकेमकांपासून दूर असे वाफेचे कण

एकमेकांच्या जवळ असे वाफेचे कण

आकृतीत दाखवल्याप्रमाणे वाफेच्या कणांच्या संख्येत बदल न होता वाफ संकोचते (आकुंचन पावते) किंवा विस्फारते. (प्रसरण पावते)

वाफेच्या कणांच्या दरम्यान निर्वात पोकळी (*Vacuum*) आहे. वाफ कणस्वरूप आहे.

वाफेचे पाणी किंवा बर्फ झाल्यावर कणस्वरूप (अणुस्वरूप) नाहीसे व्हायचे कांहीच कारण नाही. फक्त कण एकमेकांच्या खूपच जवळ आलेले असतील. कणस्वरूप कायम राहते म्हणजे पाणी व बर्फ हेही कणस्वरूप (अणुस्वरूप) असले पाहिजेत.

पदार्थ अणुस्वरूप असावेत यापासून पुढील संकल्पना ओघानेच येतात -

- एक मूलपदार्थ-मूलद्रव्य-एकाच प्रकारच्या अणूंपासून बनलेला असावा.
- अन्य मूलद्रव्ये बनवणाऱ्या अणूंचे गुणधर्म वेगळे वेगळे असावेत.
- संयुक्त पदार्थ-संयुगे-ही दोन किंवा अधिक मूलद्रव्यांच्या संयोगाने बनत असावीत.

अशा विचारांच्या आधारे बॉइलने मूलद्रव्याची व्याख्या अशी केली-

‘मूलद्रव्ये अन्य पदार्थांपासून किंवा एकमेकांपासून बनत नाहीत. मूलद्रव्यांचा संयोग होऊन पदार्थ-संयुगे बनतात. पदार्थांचे-संयुगांचे विघटन झाल्यास मूलद्रव्ये निष्पन्न होतात.’

या व्याख्येनुसार इ.स.1674 मध्ये जोसेफ ब्लॅक याने ‘फॉस्फरस’ या मूलद्रव्याचा शोध लावला. शोधले गेलेले हे पहिले मूलद्रव्य!

अठराव्या शतकाच्या शेवटी शेवटी अन्त्वान् लोरां लव्हाजिए (इ.स.1743-1794)याने बॉईलच्या व्याख्येवर आधारित अशी मूलद्रव्याची पूर्णपणे प्रयोगनिष्ठ व्याख्या केली. ती अशी-

‘ज्या पदार्थांपासून आणखी सोपे पदार्थ प्रक्रियांद्वारे मिळवता येत नाहीत असा पदार्थ म्हणजे मूलपदार्थ-मूलद्रव्य.’

बॉइलनंतरच्या काळातल्या स्टाल, कॅव्हेंडिश, प्रीस्टले, शील, लव्हाजिए अशा अनेक दिग्गज रसायनशास्त्रज्ञांनी मूलद्रव्ये, अभिक्रिया, प्रयोगपद्धती या सर्वच बाबतीत फार महत्त्वाचे शोध लावले. अतिशय तुटपुंज्या साधनांच्या साह्याने इतके मूलभूत

स्वरूपाचे संशोधन केल्याबद्दल आपण फक्त आदरयुक्त आश्चर्य व्यक्त करू शकतो.

लुई प्राउस्ट (इ.स.1754-1826) याने अभिक्रियांच्या बाबतीतला 'निश्चित प्रमाणांचा नियम' (*Law of Definite Proportions*) शोधून काढला. तो असा - 'विशिष्ट संयुग बनताना त्याच्या घटक मूलद्रव्यांची वजनी प्रमाणे ही निश्चित आणि स्थिर असतात.' उदा. $CuCO_3$ मध्ये $Cu : C : O$ यांची वजनी प्रमाणे 5.3 : 1 : 4 अशीच असतात.

अंतवान् लोरां लव्हाजिए याने रसायनशास्त्रातील गूढवादाला पूर्णपणे तिलांजली दिली. रासायनिक अभिक्रियांमध्ये ज्यांची वस्तुमाने व आकारमाने अचूकपणे ठरविता येतील अशाच अभिक्रियाकारकांचा व उत्पादितांचा विचार व्हावा असा दंडक घालून देऊन मापनाधिष्ठित (*quantitative*) रसायनशास्त्राची स्थापना केली.

अभिक्रियेतील सर्व उत्पादितांच्या व अभिक्रियाकारकांच्या वस्तुमानाचा विचार केला तर वस्तुमान निर्माणही होत नाही व नष्टही होत नाही.

हा रसायनशास्त्रातील अक्षय वस्तुमानाचा नियम लव्हाजिएने मांडला.

अक्षय वस्तुमानाचा नियम, प्राउस्टचा नियम आणि त्यावेळेपर्यंत रसायनशास्त्रात लागलेले शोध यांच्या आधारे जॉन डाल्टनने (इ.स.1766-1844) इ.स. 1803 मध्ये आपली 'अणुप्रणाली' मांडली. ती पुढीलप्रमाणे -

- पदार्थ अणूंचे बनलेले असतात.
- एका मूलद्रव्याचे सर्व अणू समान गुणधर्मांचे असतात. हे गुणधर्म दुसऱ्या मूलद्रव्याच्या अणूंच्या गुणधर्माहून भिन्न असतात.
- एका मूलद्रव्याचे सर्व अणू एका विशिष्ट वस्तुमानाचे असतात.
- अणू अविनाशी (*indestructible*) असतात.
- अणूंच्या संयोगामुळे संयुगे बनतात.

या प्रणालीचे निष्कर्ष काय असतील याचा विचार करण्यासाठी ऐतिहासिक दृष्ट्या थोडीशी नंतरची, जॉन्स जाकोब बर्झेलियसने (इ.स. 1779-1848) सुचवलेली 'संज्ञा' (*symbol*) ही संकल्पना थोडीशी आधीच वापरू या.

A अशा लेखनाने आपण A या मूलद्रव्याचा एक अणू, B अशा लेखनाने आपण B या मूलद्रव्याचा एक अणू आणि AB_2 अशा लेखनाने ज्या संयुगात A चा एक अणू व B चे दोन अणू आहेत अशा संयुगाचा एक रेणू (*molecule*) दाखवू या. अणू म्हणजे मूलद्रव्याचा लहानात लहान कण. तेव्हा संयुगाच्या लहानात लहान कणाला वेगळे नाव हवे. ते आहे रेणू!

AB , AB_2 , AB_3 ही रेणूसूत्रे आहेत. म्हणजे A व B या मूलद्रव्यांच्या अणूंपासून हे रेणू कसे बनले त्याचे लेखन आहे असे म्हणता येईल.

आपण ABC किंवा ABC_2 अशा रेणूसूत्रांचा विचार करू या.

- A या अणूचे वस्तुमान x ,
- B या अणूचे वस्तुमान y ,
- C या अणूचे वस्तुमान z

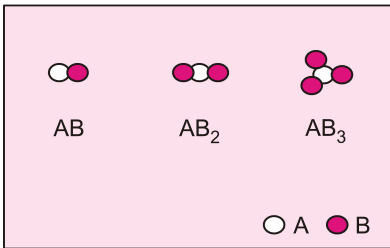
असे असेल तर ABC या संयुगामध्ये A, B, C या मूलद्रव्यांची वजनी प्रमाणे $x:y:z$ अशी असतील. $x:y:z$ हे निश्चित व स्थिर प्रमाण आहे.

ABC_2 या संयुगामध्ये A, B, C या मूलद्रव्यांची वजनीप्रमाणे $x:y:2z$ अशी असतील. $x:y:2z$ हे एक वेगळे निश्चित व स्थिर प्रमाण आहे.

म्हणजे या प्रणालीच्या 5व्या कलमातून प्राऊस्टचा निश्चित वजनी प्रमाणांचा नियम निष्पन्न होतो. याच 5व्या कलमातून डाल्टनचा विविध गुणोत्तरांचा नियमसुद्धा (*Law of Multiple Proportions*) निष्पन्न होतो. तो नियम असा आहे.

‘दोन मूलद्रव्यांपासून एकापेक्षा जास्त संयुगे बनत असतील तर एका मूलद्रव्याच्या निश्चित वस्तुमानाशी संयोग होणाऱ्या दुसऱ्या मूलद्रव्याच्या वेगवेगळ्या वस्तुमानांची गुणोत्तरे (*ratios*) साध्या पूर्णांकांनी दाखवता येतात.’

पुढील आकृत्यांवरून हा नियम स्पष्ट होईल—



A व B या मूलद्रव्यांपासून AB, AB_2, AB_3 असे संयुगांचे प्रकार बनले तर B च्या वस्तुमानांचे गुणोत्तर $1 : 2 : 3$ असे असेल.

डाल्टनच्या प्रणालीत रेणू (*molecule*) ची संकल्पना गृहीत धरलेली आहे. पण ती स्पष्ट नसल्याने घोटाले व्हायचे. डाल्टनच्या स्वतःच्या मते मूलद्रव्ये एकाणू (*monatomic*) स्वरूपात निसर्गात असतात. हा चुकीचा

विचार बाजूला सारून पदार्थांचे आणि मूलद्रव्यांचेसुद्धा रेणूस्वरूप विशद करण्याचे काम अँमेडियो अँव्होगाड्रो (इ.स.1776-1856) याने केले.

प्राऊस्टच्या वस्तुमानाविषयीच्या नियमासारखा वायूंच्या बाबतीतील 'संयोगी आकारमानांचा नियम' (*Law of combining volumes*) याचा शोध गेल्युसॅक (इ.स.1778-1850) याने लावला होता. त्यानुसार 'वायुअवस्थेतील अभिक्रियांमध्ये अभिक्रियाकारके आणि उत्पादिते यांची आकारमाने साध्या आकड्यांच्या गुणोत्तरांनी दाखवता येतात.' उदा. पाणी बनताना हैड्रोजन व ऑक्सिजन यांची आकारमाने 2:1 अशी असतात.

अँव्होगाड्रोने याबाबत असे सुचवले की 'तापमान व दाब समान असतील तर कुठल्याही वायूंच्या समान आकारमानांमध्ये सामावलेल्या कणांची संख्या समान असते.' अँव्होगाड्रोचे गृहीतक (*Avogadro's Hypothesis*) या नावाने हा नियम ओळखला जातो.

प्रयोगांवरून हे माहिती आहे की - दोन भाग हैड्रोजन व एक भाग ऑक्सिजन यांच्यापासून 2 भाग पाणी बनते. म्हणजे पाण्याचे रेणूसूत्र H_2O असे ठरले.

$2n$ हैड्रोजनचे कण आणि n ऑक्सिजनचे कण यांच्या संयोगातून $2n$ पाण्याचे कण बनले. $2n$ पाण्याच्या कणांमध्ये $2n$ ऑक्सिजनचे अणू आहेत, त्या अर्थी वायुरूप ऑक्सिजनच्या n कणांमध्ये $2n$ ऑक्सिजनचे अणू आहेत. म्हणजे वायुरूप ऑक्सिजनचा कण हा द्विअणू (*diatomic*) रेणू O_2 असा हवा. तसाच हैड्रोजनसुद्धा द्विअणू रेणूस्वरूपात H_2 असा हवा.

अॅव्होगाड्रोच्या गृहीतकावरून 'रेणू' ही संकल्पना निष्पन्न होते तशीच 'मोल' (*mole*) ही अतिशय महत्त्वाची रसायनशास्त्रीय संकल्पनाही निष्पन्न होते. ती कशी ते पाहू या—

20⁰ C तापमान व वातावरणीय दाब या स्थितीतील 22.4 लिटर आकारमानाच्या हैड्रोजनचे वस्तुमान 2 ग्रॅम, नैट्रोजनचे वस्तुमान 28 ग्रॅम. तर ऑक्सिजनचे वस्तुमान 32 ग्रॅम असते.

या सर्वांमध्ये रेणूंची संख्या समान हवी ही संख्या 6.023×10^{23} एवढी मोठी आहे. या संख्येला 'मोल' (*mole*) असे नाव आहे. 'मोल' ही एक संख्या आहे.

हैड्रोजन अणूचे वस्तुमान हे अणुवस्तुमानाचे एकक (*atomic mass unit*) ठरवू या. म्हणजे हैड्रोजनच्या 2 ग्रॅम वस्तुमानात एक मोल रेणू असतात. हैड्रोजनच्या 1 ग्रॅम वस्तुमानात एक मोल अणू असतात.

अणूचा वस्तुमानांक आहे तेवढे ग्रॅम मूलद्रव्य घेतल्यास त्यात एक मोल मूलद्रव्याचे अणू असतात. ग्रॅम-अणू मध्ये एक मोल अणू असतात.

संयुगाचा रेणुभार आहे तेवढे ग्रॅम संयुग म्हणजे संयुगाचे एक मोल रेणू! ग्रॅम-रेणूमध्ये एक मोल रेणू असतात.

डाल्टनच्या प्रणालीचा वापर करून रासायनिक संकल्पनांमध्ये सुसूत्रता आणण्याचे काम बर्झेलियस या स्वीडिश शास्त्रज्ञाने केले.

बर्झेलियसने प्रथम अतिशय बिनचूक अशी अणुभारांकसारिणी (*Table of Atomic Weights*) बनवली.

त्यानेच मूलद्रव्यांच्या लॅटिन नावांमधील आद्याक्षरांवरून किंवा आद्याक्षर व एक अक्षर वापरून मूलद्रव्यांना संज्ञा (symbols) दिल्या. H ही संज्ञा हैड्रोजन या मूलद्रव्याचा एक अणू दर्शविते. O ही संज्ञा ऑक्सिजन या मूलद्रव्याचा एक अणू दर्शविते. Cu ही संज्ञा तांब्याचा (cuprum) एक अणू दर्शविते, वगैरे.

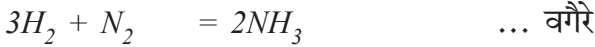
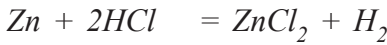
मूलद्रव्यांच्या संज्ञा वापरून संयुगात ती मूलद्रव्ये कोणत्या प्रमाणात आहेत हे दर्शविणारे केलेले लेखन म्हणजे रेणुसूत्रे, उदा.

H_2O पाणी,

CO_2 (कार्बन डाय ऑक्साइड),

NH_3 (अमोनिया वायू) इत्यादि.

संज्ञा, रेणुसूत्रे व + आणि = ही चिन्हे वापरून रासायनिक अभिक्रियेचे केलेले अचूक लेखन म्हणजे रासायनिक समीकरण उदा.



अभिक्रियाकारके = उत्पादिते

= या चिन्हाच्या डावीकडील पदार्थ म्हणजे अभिक्रियाकारके (reactants)

= या चिन्हाच्या उजवीकडील पदार्थ म्हणजे उत्पादिते (products).

संज्ञा, रेणुसूत्रे आणि रासायनिक समीकरणे यांचा वापर बर्झेलियसने सुरू केला.

रासायनिक अभिक्रियांमध्ये अखंडपणे भाग घेणाऱ्या अणुसमुच्चयांना 'मूलके' (*radicals*) हे नाव बर्झेलियसने दिले. समान रेणूसूत्र पण वेगवेगळे गुणधर्म असणाऱ्या संयुगांना समसूत्री (*isomer*) हे नाव त्यानेच दिले.

रासायनिक समीकरणांच्या पद्धतीमुळे 'रासायनिक अभिक्रिया म्हणजे अणूंच्या मूल रचनांमध्ये बदल होऊन नवीन रचना निर्माण होणे' हा विचार रुजला.





मायकेल फॅरेडे
(1791-1867)

पदार्थांचे अणू आणि विद्युत अणू

डाल्टन, बर्झेलियस, अँव्होगाड्रो इत्यादींनी मांडणी केलेली डाल्टनची अणुप्रणाली ही आता रसायनशास्त्राचा अविभाज्य भाग बनली होती. हा काळ होता इ.स. 1825 ते 1890.

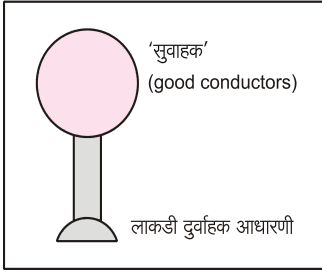
पदार्थांच्या रासायनिक गुणधर्मांचा उलगडा करण्यास अणुप्रणाली पुरेशी वाटत होती. पण पदार्थांचे प्रभारनिर्मिती, विद्युत्धारावहन, चुंबकीय गुणधर्म इत्यादींचा डाल्टन अणुप्रणालीने कांहीच उलगडा होत नव्हता. पदार्थ आणि ऊर्जा व प्रारणे यांचेही संबंध कळत नव्हते. एकदा पदार्थ अणुस्वरूप असतात हे मान्य केले म्हणजे वरील सर्व गोष्टींची स्पष्टीकरणे अणुप्रणालीच्या साहाय्याने मिळायला हवीत. ती शास्त्रज्ञांनी कशी कशी मिळवली ते आपण पाहणार आहोत. या प्रकरणात आपण अणू आणि प्रभार, विद्युत्धारा वगैरेंचे परस्परसंबंध तपासणार आहोत.

गिल्बर्ट (इ.स. 1540-1603) याने 'काही पदार्थ घर्षणानंतर इतर लहान पदार्थांना आकृष्ट करतात' हे दाखवले. या पदार्थांना त्याने (*Electrics*) असे नाव दिले.

चार्ल्स फ्रान्स्वा द सिस्टर्ने दु फे (इ.स. 1698-1739) याने कांचेवरील धनभार (*vitreous charge*) आणि लाखेवरील ऋणभार (*resinous charge*) अशा दोन प्रकारच्या प्रभारांचा शोध लावला. तसे समान प्रभारांमध्ये 'अपकर्षण' (*repulsion*) तर असमान प्रभारांमध्ये 'आकर्षण' (*attraction*) असते हे सिद्ध केले.

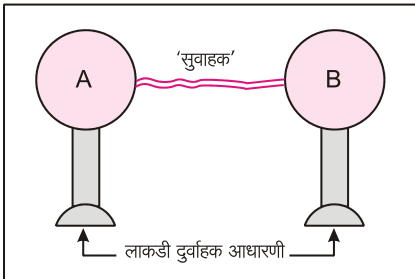
कांच किंवा लाख अशा काही पदार्थांवर घर्षणाने एखाद्या ठिकाणी निर्माण झालेला प्रभार बराच वेळ तेथे टिकून राहतो व हळुहळु हवेत विरून जातो. अशा पदार्थांना प्रभारांचे 'दुर्वाहक' (*bad conductors*) असे म्हणतात.

धातूंसारख्या पदार्थांवर निर्माण केलेला प्रभार तत्काळ पदार्थाच्या पृष्ठभागावर सर्वदूर पसरतो आणि जमिनीशी संपर्क आल्यास जमिनीत निघून जातो. अशा पदार्थांना प्रभाराचे 'सुवाहक' (*good conductors*) म्हणतात. आकृतीत दाखवल्या-प्रमाणे सुवाहक एका दुर्वाहक आधारणीवर बसवून त्यावर प्रभार निर्माण केला तर तो प्रभार बराच काळ त्यावर टिकून राहतो.



प्रभारित वस्तूच्या आसमंतात प्रभाराचे 'प्रभावक्षेत्र' निर्माण होते. उदा. केस विंचरल्यावर कंगवा प्रभारित होतो आणि जवळच्या कागदाच्या कपट्यांसारख्या वस्तू उचलून घेऊ शकतो. प्रभाराच्या जितके जवळ जावे तितका त्याचा

'प्रभाव' जास्त तसेच प्रभार जितका जास्त तितका त्याचा 'प्रभाव' जास्त!



आकृतीत दाखवल्या-प्रमाणे A आणि B या प्रभारित वस्तू सुवाहकाने जोडल्या तर प्रभार जास्त 'प्रभावा'कडून कमी 'प्रभावा'कडे वाहतो. ही झाली क्षणिक विद्युत्प्रवाहा!

पाणी जसे उंच पातळीकडून सखल भागाकडे वाहते तसे.

जर आपण एखाद्या संयंत्राच्या साहाय्याने प्रभावाच्या पातळीमधील फरक कायम राखू शकलो तर मात्र विद्युत्‌धारा जास्त प्रभावाकडून कमी प्रभावाकडे सतत वाहात राहिल. ही झाली दिष्टधारा (*direct current*)!

काही द्रवपदार्थसुद्धा विद्युत्‌धारा वाहून नेतात. शुद्ध पाण्यामधून विद्युत्‌धारा वाहात नाही पण मिठाच्या द्रावणातून विद्युत्‌धारा वाहते.

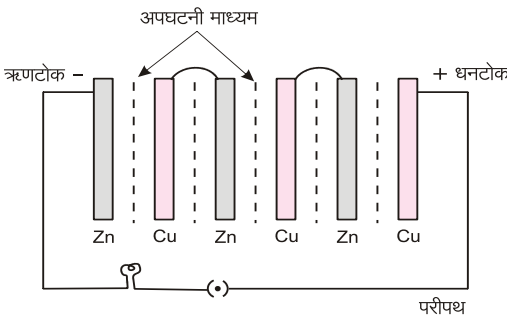
ज्या द्रावणामधून विद्युत्‌धारा वाहात नाही त्यांना 'अनपघटनी' (*non-electrolytic*) द्रावणे म्हणतात. उदा. साखरेचे द्रावण.

ज्या द्रावणामधून विद्युत्‌धारा वाहते त्यांना 'अपघटनी' (*electrolytic*) द्रावणे म्हणतात. उदा. मीठ, मोरचूद, नवसागर यांची द्रावणे.

अलेसांद्रो व्होल्टा (इ.स. 1745-1827) याने इ.स. 1800 मध्ये असे दाखवले की

'दोन वेगवेगळ्या धातूंचा अपघटनी द्रावणाच्या माध्यमाने संपर्क साधला तर त्यापासून विद्युत्‌धारा मिळते.'

वरील संकल्पनेनुसार आकृतीत दाखवल्याप्रमाणे त्याने



व्होल्टाची सारिणी (*Volta's Pile*) या नावाचा विद्युत्‌स्रोत बनवला.

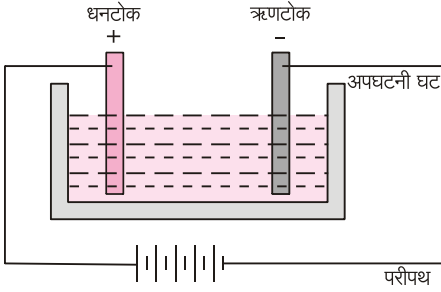
व्होल्टाच्या सारिणीत अपघटनी माध्यमात रासायनिक

अभिक्रिया घडतात. बाहेर पडलेल्या ऊर्जेचे विद्युत्ऊर्जेत रूपांतर होते. म्हणजे

रासायनिक अभिक्रिया \longrightarrow विद्युत् ऊर्जा निर्मिती

असा संबंध असतो असे दिसते.

व्होल्टा सारिणीचा वापर करून रासायनिक अभिक्रिया घडवण्याची पद्धत सर हॅफ्रे डेव्ही (इ.स. 1778-1829) याने शोधून काढली.



आकृतीत

दाखवल्याप्रमाणे
वितळलेल्या मिठातून
(तापमान $800^{\circ}C$)
विद्युत् धारा
संक्रमित करून त्याने
मिठाचे अपघटन
(*dissociation*)

घडवले व ऋणटोकापाशी सोडियम हे मूलद्रव्य मिळवले. याच पद्धतीने त्याने पोटॅशियम, स्ट्रॉचम, मॅग्नेशियम, बेरियम इत्यादि मूलद्रव्ये शोधून काढली. म्हणजे विद्युत्ऊर्जा वापरून रासायनिक अभिक्रिया घडवता येतात.

रासायनिक अभिक्रिया म्हणजे अणूंच्या जुन्या रचना मोडल्या जाऊन नवीन रचना निर्माण होणे. तेव्हा विद्युत्ऊर्जा आणि अणू यांचे परस्परसंबंध असले पाहिजेत हे ओघानेच आले. विद्युत् रसायनशास्त्रातले यापुढील संशोधन हे याच दिशेने झाले.

या संशोधनाचा अग्रणी होता मायकेल फॅरॅडे
(इ.स. 1791-1867) या आधीच्या लिखाणात आपण जे शब्द

वापरले त्यांच्यासह विद्युत्-रसायनशास्त्राची पूर्ण परिभाषाच फॅरॅडेने निर्माण केली. ती परिभाषा आधी समजून घेऊ या.

आयन (Ion): अपघटनी द्रावणांमधून विद्युत्‌धारा वाहून नेणारे अणू किंवा अणुसमुच्चय!

आयन ही संकल्पना फॅरॅडेने फारशा नेमकेपणाने मांडली नाही. तिची व्यवस्थित मांडणी स्वान्ते ऑगस्ट अँहीनियस (इ.स. 1859-1927) या स्वीडिश शास्त्रज्ञाने केली. ती अशी: वितळलेल्या सोडियम क्लोराइडमधून जेव्हा विद्युत्‌धारा जाते तेव्हा सोडियम क्लोराइडचे विघटन-अपघटन (*dissociation*) होते. पण हे विघटन सोडियम आणि क्लोरीन यांच्या अणूंमध्ये होत नाही तर धनभारित सोडियम आयन Na^+ आणि ऋणभारित क्लोरिन आयन Cl^- असे होत. आयनांचे गुणधर्म अणूंच्या गुणधर्मापेक्षा पूर्णपणे वेगळे असतात. उदा. सोडियमच्या अणूची पाण्याबरोबर अभिक्रिया होईल, पण द्रावणातल्या सोडियम आयनाची (Na^+) पाण्याबरोबर अभिक्रिया होणार नाही.

धनटोक (Anode): विद्युत्‌स्रोताच्या धनटोकाशी जोडलेले विद्युत्‌घटातील टोक.

ऋणटोक (Cathode): विद्युत्‌स्रोताच्या ऋणटोकाशी जोडलेले विद्युत्‌घटातील टोक.

अपघटनी द्रावण (Electrolyte): विद्युत्‌ धारा संक्रमित करणारे द्रावण. या द्रावणात अपघटन होऊन आयन निर्माण झालेले असतात.

अनपघटनी द्रावण (Non-electrolyte): विद्युत्‌धारा संक्रमित न करणारे द्रावण. या द्रावणात अपघटन झालेले नसते. आयन निर्माण झालेले नसतात.

धनायन (Cations): धनभारित असल्याने ऋणटोकाकडे जाणारे व ऋणटोकापाशी उत्सर्जित होणारे आयन.

ऋणायन (Anions): ऋणभारित असल्याने धनटोकाकडे जाणारे व धनटोकापाशी उत्सर्जित होणारे आयन.

विद्युत् अपघटन (Electrolysis): अपघटनी घटातून विद्युत्‌धारा संक्रमित झाल्यावर रासायनिक अभिक्रिया घडणे व ऋणटोकापाशी धनायन (cation) आणि धनटोकापाशी ऋणायन (anion) यांचे उत्सर्जन होणे.

विद्युत् विलेपन (Electroplating): ऋणटोकापाशी उत्सर्जित झालेल्या धनायनांची (cations) द्रावकाशी किंवा ऋणटोकाशी अभिक्रिया न होता धनायनांचे (cations) ऋणटोकावर जमा होणे.

इ.स. १८३२ व १८३३ मध्ये केलेल्या प्रयोगांच्या आधारे विद्युत्-अपघटनासंबंधी फॅरडेने खालील नियम शोधून काढले.

पहिला नियम: 'एकाद्या विद्युत्‌टोकावर (Electrode) जमा झालेल्या किंवा उत्सर्जित झालेल्या पदार्थाचे वस्तुमान अपघटनीम धून जाणाऱ्या विद्युत् प्रभाराच्या समप्रमाणात असते.'

m = उत्सर्जित वस्तुमान.

Q = अपघटनीतून जाणारा प्रभार.

c = अपघटनीतून जाणारी विद्युत्‌धारा अँपिअरमध्ये

t = विद्युत्‌धारा जाण्याचा काल, सेकंदामध्ये.

z = पदार्थविशिष्ट विद्युत्‌रासायनिक स्थिरांक

(Electrochemical Equivalent).

अशा या राशींमधील संबंध समीकरणाच्या गणिती भाषेत असा लिहिता येतो.

$$m = ZQ = Zct \dots\dots\dots(1)$$

दुसरा नियम माहिती करून घेण्याआधी काही राशींची व संकल्पनांची ओळख करून घेऊ.

कुलोम (Coulomb): प्रभाराचे एकक. एक अँपियरची विद्युत्‌धारा एक सेकंद या काळात एक कुलोम एवढा प्रभार संक्रमित करते.

सममूल्यभार (Equivalent Weight): संयुजा एक असलेल्या मूलद्रव्याचे एक मोल अणू. संयुजा दोन असलेल्या मूलद्रव्याचे $1/2$ मोल अणू. संयुजा तीन असलेल्या मूलद्रव्याचे $1/3$ मोल अणू वगैरे.

फॅरॅडेचा दुसरा नियम: 'अपघटनी घटातून एक फॅरॅडे म्हणजे 96500 कुलोम एवढा प्रभार संक्रमित झाला तर विद्युत्‌टोकापाशी एक सममूल्यभार एवढे मूलद्रव्य उत्सर्जित होते.

एक फॅरॅडे एवढ्या प्रभाराचा अणूंच्या संख्येशी सरळसरळ संबंध आहे असे दिसते. अशा निरीक्षणांवरून जॉर्ज जॉन्स्टन स्टोनी (इ.स. 1826-1911) याने असा निष्कर्ष काढला की—

विद्युत्‌प्रभार अणुस्वरूप असायला हवा.

विद्युत्‌ प्रभाराच्या अणुला त्याने इलेक्ट्रॉन (Electron) हे नाव दिले.

आतापर्यंत प्रभार आणि विद्युत्‌धारा यांच्याबद्दल थोडीफार माहिती आपण मिळवली आहे. पण या दोन्हीचे नेमके स्वरूप काय? याचे अजूनही आपल्याला उत्तर देता येणार नाही.

अणू आणि प्रभार यांचाही परस्परसंबंध असावा असे दिसते. तो नेमका कसा आहे हेसुद्धा अजून नीटसे माहिती झालेले नाही.

याचे कारण असे आहे की, अणूचे नेमके स्वरूप कळण्यासाठी प्रभार आणि विद्युत् यांचेही नेमके स्वरूप कळणे आवश्यक आहे. तसेच प्रभार आणि विद्युत् यांचे नेमके स्वरूप कळण्यासाठी अणूचे नेमके स्वरूप कळणे आवश्यक आहे. त्यामुळे या दोन्हींचा अभ्यास परस्परपूरक पद्धतीने करणे आवश्यक आहे.



५



जे. जे. थॉमसन
(1856-1940)

अणूचे अंतरंग आणि थॉमसनची अणूप्रतिकृती

मागील प्रकरणात आपण अणू आणि प्रभार व विद्युत्‌धारा यांच्यामधील परस्परसंबंधांची थोडीशी माहिती घेतली. आता अणू आणि ऊर्जा व प्रारणे यांची माहिती घ्यायला हवी अशी अपेक्षा निर्माण झाली असेल. परंतु अणू आणि ऊर्जा व प्रारणे यांचा अभ्यास आपण थोड्या उशिराने, पण योग्य वेळी करू. सध्या मात्र आपण अणू व प्रभार आणि विद्युत्‌धारा यांचा अभ्यास चालू ठेवणार आहोत.

डाल्टनची अणूप्रणाली अपुरी पडते एवढे निश्चित झाल्यावर तिच्यातील कोणत्या संकल्पना बदलणे आवश्यक आहे याचा विचार व्हायला लागला.

सर्वसाधारणपणे पदार्थ प्रभाररहित असतात असा आपला अनुभव आहे. पदार्थ अणूंचे बनलेले असतात म्हणजे सर्वसाधारणपणे अणू प्रभाररहित असतात असे म्हणावे लागेल.

परंतु घर्षणासारख्या साध्या उपायांनी पदार्थ प्रभारित करता येतात हाही आपला अनुभव आहे. केस विंचरून झाल्यावर त्याच कंगव्याने कागदाचे छोटे छोटे कपटे उचलण्याचा खेळ जवळजवळ प्रत्येकाने केला असतो.

प्रभाररहित पदार्थांवर म्हणजेच अणूंवर घर्षणाने निर्माण झालेला हा प्रभार कोठून आला? अर्थातच अणूंच्या अंतरंगातून! याशिवाय दुसरी शक्यता दिसत नाही.

प्रभार दोन प्रकारचे असतात - धन आणि ऋण. कुठलाही एकाच प्रकारचा प्रभार अणूच्या अंतरंगात असेल तर अणू प्रभारित असतात असे निरीक्षणातून निष्पन्न होईल. पण सर्वसाधारणपणे अणू प्रभारित नसतात असे आपले निरीक्षण आहे. म्हणजे अणूच्या अंतरंगात धन व ऋण प्रभार हे दोन्ही समप्रमाणात, एकमेकांना निष्कृत (*cancel*) करतील अशा मात्रेचे असले पाहिजेत.

हे सगळे मान्य केले म्हणजे अणूला आंतरिक संरचना (*internal structure*) असली पाहिजे; अणू अविभाज्य नसून वेगवेगळ्या भागांचा बनलेला असला पाहिजे हे निष्पन्न होते.

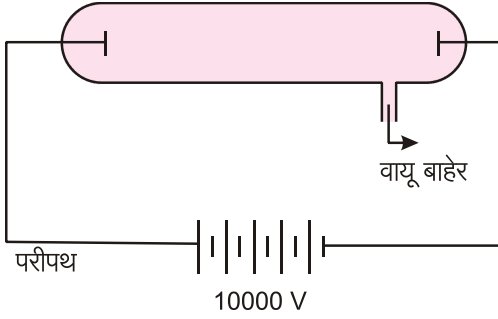
डाल्टनच्या प्रणालीतील अणूची अविभाज्यता ही संकल्पना शास्त्रज्ञांनी सोडून दिली आणि अणूच्या आंतरिक घटकांचा शोध सुरू झाला. वेगवेगळ्या क्षेत्रातल्या संशोधनाची मदत या शोधामध्ये घेतली गेली.

फॅरॅडे आणि इतरांनी द्रवांमधून विद्युत्‌धारा संक्रमित करून अणू व विद्युत्‌ यांच्या परस्पर संबंधाविषयी बरीच माहिती मिळवली. तशा प्रकारची माहिती वायूंचा वापर करून मिळवण्यासाठी वायूंमधून विद्युत्‌धारा संक्रमित करण्याचे प्रयोग सुरू झाले.

एरवी वायूंमधून किंवा हवेमधून विद्युत्‌धारा संक्रमित होत नाही. परंतु 1854 साली कांचेच्या नळ्यांमध्ये विशिष्ट वायू भरून अतिशय कमी दाब निर्माण करण्याचे तंत्र 'गेसलर' याने विकसित केले.

इ.स. 1860 च्या सुमारास 'प्लमर' याने या गेसलर नळ्यांमध्ये ऋण व धन टोके (*electrodes*) बसवून आणि खूप मोठे विभवांतर (*voltage*) वापरून विद्युत्‌धारा संक्रमित करायला सुरुवात केली.

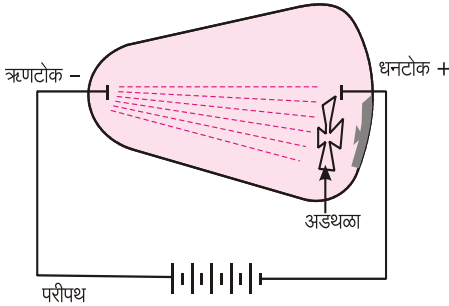
अशा नळीला विद्युन्मोच नळी (Gaseous Discharge tube) असे म्हणतात. प्लमरला असे आढळले की एक शतांश



वातावरणीय दाबाला अशी नळी दिप्तीमान होते. दिप्तीमान विद्युन्मोच नळ्यांची माहिती आपण जराशी नंतर घेणार आहोत.

प्लमरला

पुढे असेही दिसून आले की, विद्युन्मोच नळीतील दाब एक दशसहस्रांश वातावरणीय दाबाइतका कमी झाला तरीही विद्युत्‌धारा वाहतच असते. वायूची दिप्ती संपून नळी अंधारते. पण विद्युत्‌टोकांजवळची काच हिरवट दिप्ती दर्शवते. चुंबकामुळे ही हिरवट दिप्ती विचलित होते.



इ.स. 1869 मध्ये आकृतीत दाखवलेली विद्युन्मोच नळी वापरून हिड्रॉर्फ आणि क्रुक्स यांनी असे दाखवले की या दिप्तीच्या मार्गात अडथळा आल्यास त्याची सावली पडते. (काचेचा तेवढा भाग दिप्तीमान होत

नाही.) नळीतील वायु कुठलाही असला आणि ऋण व धन टोके कोणत्याही धातूची असली तरी या दिप्तीचे गुणधर्म बदलत नाहीत.

इ.स. 1876 मध्ये या दिप्तीला कॅथोड किरण (Cathode Rays) असे नाव दिले गेले. या दिप्तीचा जे.जे. थॉमसन (इ.स.1856-1940) याने अतिशय सखोल अभ्यास केला. कॅथोड किरण हे विद्युतीय क्षेत्रात विचलित होतात हे त्याने दाखवले आणि हे किरण नसून कण असतात असा निष्कर्ष काढला. विद्युतीय क्षेत्रातील विचलनाच्या दिशेवरून हे कण ऋणभारित असले पाहिजेत हे त्याने दाखवले.

स्टोनीचे इलेक्ट्रॉन ते हेच आणि हेच कण प्रत्येक अणूचे घटक असतात हे थॉमसनने दाखवले.

अणूचा एक घटक ऋणभारित इलेक्ट्रॉन तर सापडला. प्रयोगांद्वारे या इलेक्ट्रॉन्सचे गुणधर्म असे असतात हे ठरले—

$$\text{इलेक्ट्रॉन प्रभार} = - 1.6 \times 10^{-19} \text{ कुलोम}$$

$$\text{इलेक्ट्रॉन वस्तुमान} = 9.1 \times 10^{-28} \text{ ग्रॅम}$$

$$\text{इलेक्ट्रॉन त्रिज्या} = 2.818 \times 10^{-13} \text{ से.मी.}$$

हे निष्कर्ष आपण गृहीत धरून पुढील चर्चेसाठी वापरणार आहोत.

यापुढची पायरी म्हणजे अणूची त्रिज्या काय असावी याचा अंदाज लावायचा होता. यासाठी आपण अॅव्हागाड्रोनें प्रथम मांडणी केलेली 'मोल' (mole) ही संकल्पना वापरून आणि महत्ताश्रेणी (order of magnitude) पर्यंत अचूक अशी अणूची त्रिज्या ठरवू या.

अल्यूमिनियमच्या 27 ग्रॅम वस्तुमानाचे म्हणजे एका ग्रॅम अणूचे आकारमान (volume) 10cm^3 एवढे आहे.

अल्युमिनियमचे R या त्रिज्येचे गोलाकार अणू स्थायूमध्ये एकमेकांना चिकटून आहेत असे समजू या. अणूंची संख्या एक मोल म्हणजे (6.023×10^{23}) एवढी. अणूचे आकारमान (*volume*)

प्रत्येकी $\frac{4}{3}\pi R^3$ इतके. तेव्हा महत्ता श्रेणीपर्यंत अचूक असे पुढील समीकरण लिहिता येते.

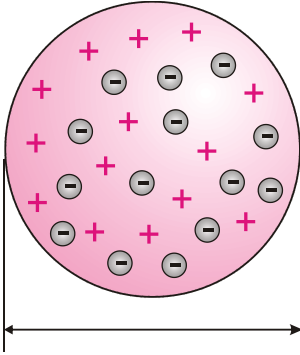
$$1 \text{ mole} \times \frac{4}{3} \pi R^3 = 10 \text{ cm}^3$$

$$\therefore 6.023 \times 10^{23} \times \frac{4}{3} \pi R^3 = 10 \text{ cm}^3$$

$$R \cong 1.6 \times 10^{-8} \text{ cm.}$$

अणूची त्रिज्या 10^{-8} cms या महत्ताश्रेणीची (*order of magnitude*) आहे.

अशा प्रकारच्या संकल्पनांचा वापर करून थॉमसनने अणू कसा असावा याची एक प्रतिकृती सुचवली. ती अशी –



1. अणू हा साधारण 10^{-8} cms एवढ्या त्रिज्येचा भरीव धनभारित गोल असतो.
2. या धनभारित गोलात कलिंगडातल्या बियांप्रमाणे ऋणभारीत इलेक्ट्रॉन्स विखुरलेले असतात. इलेक्ट्रॉन्सची संख्या धनभार निष्कृत करायला पुरेशी असते.

3. इलेक्ट्रॉन हा अणूपेक्षा सूक्ष्म असा अणूचा घटक आहे.
4. अणूतून एक किंवा जास्त इलेक्ट्रॉन बाहेर पडल्यास उरलेला अणू धनभारित आयन होतो. उदा (Na^+ , Mg^{++} , Al^{+++}) वगैरे. बाहेर पडलेला/पडलेले इलेक्ट्रॉन्स अन्य अणूशी सलग्न झाल्याने ऋणभारित आयनस होतात. उदा. Cl^- , O^{--} वगैरे.

लेनार्ड या शास्त्रज्ञानेसुद्धा कॅथोड किरणांवर प्रयोग केले होते. त्याचे निरीक्षण असे होते की, 'कॅथोड किरण म्हणजे इलेक्ट्रॉन्स धातूंच्या पातळ पत्र्यामधून फारसे विचलित न होता आरपार जातात. त्यामुळे त्याचे अणुसंबंधीचे जरासे वेगळे निष्कर्ष असे होते—

- अणू हा बराचसा पोकळ असावा.
- अणूच्या अंतरंगात धन-ऋण भारांच्या जोड्या असाव्यात प्रयोगांच्या या निष्कर्षांकडे लक्ष दिल्यावर काही शंका उद्भवतात. त्या अशा—

1. थॉमसनच्या प्रतिकृतीत सुचवल्याप्रमाणे अणू भरीव आहे की लेनार्डच्या सूचनेप्रमाणे अणू बराचसा पोकळ आहे?
2. थॉमसन प्रतिकृतीतल्या धनभाराचे वितरण अणूच्या अंतरंगात कसे झालेले आहे?
3. लेनार्डच्या मताप्रमाणे अणूच्या अंतरंगात धन-ऋण प्रभारांच्या जोडगोळ्या आहेत का?
4. अणूबाहेर पडणारे कण फक्त ऋणभारित इलेक्ट्रॉन्सच असतात असे का?

या सर्व प्रश्नांची उत्तरे मिळवण्यासाठी थॉमसनच्या प्रतिकृतीची आणखी तपासणी आवश्यक ठरली होती.





अर्नेस्ट रुदरफोर्ड
(1871-1937)

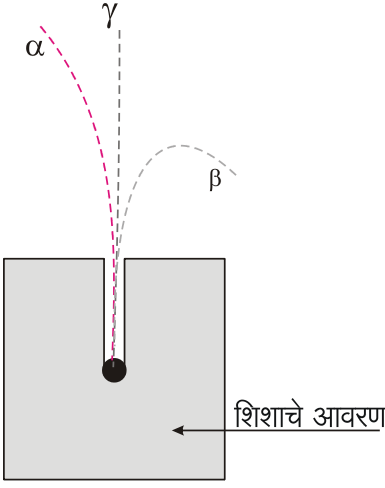
मागील प्रकरणाच्या शेवटी आपण अणूच्या स्वरूपाविषयी बऱ्याच शंका उपस्थित केल्या होत्या. त्यांचे समाधान होण्यासाठी आणि अणूचे स्वरूप आणि गुणधर्म व्यवस्थितपणे समजून घेण्यासाठी आणखी प्रयोग आवश्यक होते. हे प्रयोग अर्नेस्ट रुदरफोर्ड (इ.स. 1871-1937) या न्युझीलंडमध्ये जन्मलेल्या पण इंग्लंडमध्ये राहणाऱ्या शास्त्रज्ञाने केले. अणूपेक्षा सूक्ष्म अशा प्रभारित कणांचा अणूंवर मारा करून अणूच्या स्वरूपाविषयी माहिती मिळवायची हा रुदरफोर्डच्या प्रयोगांचा गाभा होता.

अणूपेक्षा सूक्ष्म आणि म्हणून अणू भेदू शकतील असे अतिवेगवान प्रभारित कण कसे मिळवायचे हा प्रश्न रुदरफोर्डपुढे होता. त्यासाठी त्याने इ.स. 1900 मध्ये बेक्रेरल या शास्त्रज्ञाने शोध लावलेला 'पोलोनियम' हा किरणोत्सारी (radioactive) स्रोत वापरायचे ठरवले.

प्रारण (radiation) म्हणजे माध्यमातून किंवा माध्यमाविना ऊर्जा एका ठिकाणाहून दुसऱ्या ठिकाणी घेऊन जाण्याची निसर्गाची पद्धत! याची विस्तृत माहिती पुढे येणार आहे.

काही मूलद्रव्यांच्या अस्थिर अणूंमधून उत्स्फूर्तपणे प्रारणे बाहेर पडण्याची प्रक्रिया म्हणजे किरणोत्सारिता (Radioactivity)!

आकृतीत दाखविल्याप्रमाणे पोलोनियमच्या स्रोतामधून सर्व दिशांना तीन प्रकारची प्रारणे बाहेर पडतात. त्यापैकी फक्त ऊर्ध्व



पोलोनियमच्या किरणोत्सारी स्रोत

राहणारी गॅमा(γ) प्रारणे व उजवीकडे मोठ्या प्रमाणात विचलित होणारी ऋणभारित बीटा (β) प्रारणे.

यापैकी बीटा प्रारणे म्हणजे ऋणभारित इलेक्ट्रॉन्स असतात. गॅमा प्रारणे म्हणजे विद्युत्चुंबकीय प्रारणे असतात. अल्फा प्रारणे ही धनभारित अल्फा कणांची बनलेली असतात.

या अतिवेगवान् अल्फा कणांचे गुणधर्म असे आहेत –

- अल्फा प्रभार $+ 3.2 \times 10^{-19}$ कुलोम
- अल्फा वस्तुमान 6.6×10^{-24} ग्रॅम
- अल्फा त्रिज्या 10^{-13} से.मी.

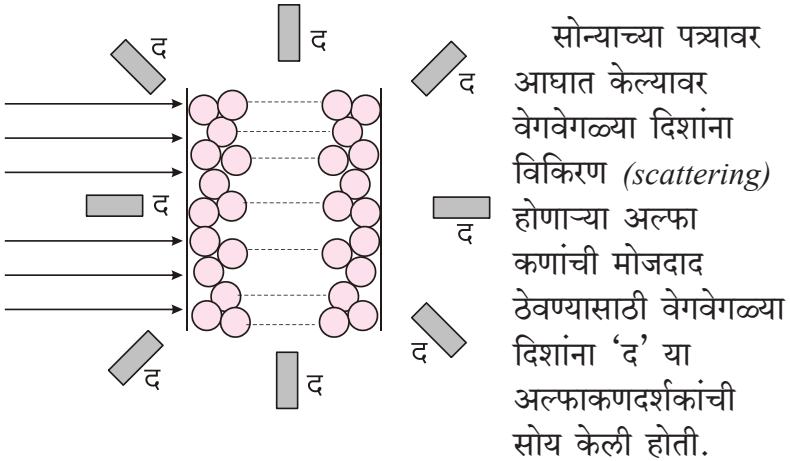
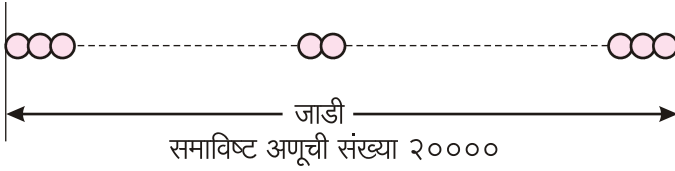
ही माहिती गृहीत धरून आपण पुढील चर्चेसाठी वापरणार आहोत.

रुदरफोर्डने पोलोनियमपासून मिळणाऱ्या अतिवेगवान् अल्फा कणांचा मारा सोन्याच्या अतिशय पातळ पत्र्यावर केला. या

दिशेची प्रारणे शिशाच्या आवरणाबाहेर पडतात. बाकी दिशांची प्रारणे शिशाच्या आवरणात शोषली जातात.

कागदाच्या प्रतलाच्या काटकोनात जर चुंबकीय क्षेत्र निर्माण केले तर या प्रारणांचे तीन भाग होतात. डावीकडे थोड्या प्रमाणात विचलित होणारी व धनभारित अल्फा(α) प्रारणे, अविचलित

पत्र्याची जाडी केवळ एक पन्नासहजारांश सें.मी. ($1/50000$ cm) एवढी होती. जाडीच्या दिशेने एकापुढे एक असे सोन्याचे (20000) अणू त्यात समाविष्ट होते.



कोणत्या प्रकारची निरीक्षणे अपेक्षित होती?

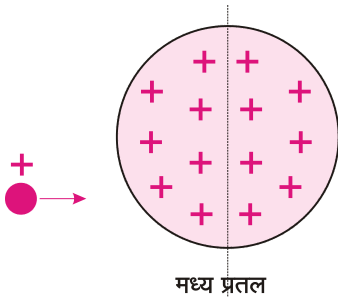
1. अणूचे वस्तुमान 10^{-8} cms एवढ्या त्रिज्येच्या गोलात सम प्रमाणात विखुरलेले असेल तर अशा अणूला 'भरीव' अणू असे म्हणता येईल.
-अणू जर 'भरीव' असेल तर अल्फा कण सोन्याच्या अणूवर आघात केल्यावर वेगवेगळ्या दिशांना विकिरित (scattered) होतील. पत्र्याच्या ज्या बाजूने अल्फा कण आले त्याच

बाजूला या विकिरणाच्या (scattering) दिशा असतील.
अल्फा कण पत्र्यातून आरपार जाणार नाहीत.

- ज्या अणूचे वस्तुमान त्याच्या गोलाकार आकारमानात सम प्रमाणात विखुरलेले नसून अणूच्या केंद्रस्थानी अतिशय लहान भागात एकवटलेले असेल तर अशा अणूला 'पोकळ' अणू असे म्हणता येईल.

-अणू जर 'पोकळ' असेल तर अल्फा कण बऱ्याच मोठ्या प्रमाणात सोन्याच्या पत्र्यातून आरपार निघून जातील.

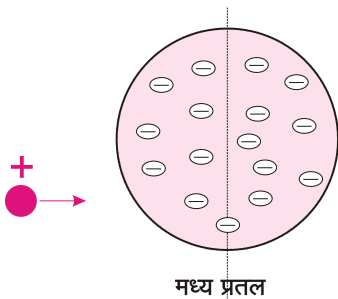
- धनप्रभार अणूभर विखुरलेला आहे पण वस्तुमान मात्र कुठेतरी छोट्या आकारमानात एकवटलेले आहे असे असेल तर काय होईल?



-धनभारित अल्फाकण अणूच्या मध्य प्रतलापर्यंत येईपावेतो अपकर्षक बलामुळे मंदावेल (वेग कमी होईल) पण मध्यप्रतल पार केल्यावर परत अपकर्षक बलामुळे वेग वाढेल व अणूबाहेर पडेपर्यंत त्याला मूळ वेग प्राप्त झालेला असेल. म्हणजे अल्फा

कण वेगात बदल न होता अणूमधून आरपार निघून जाईल.

- इलेक्ट्रॉन्सच्या स्वरूपात अणूभर विखुरलेल्या



ऋणप्रभाराचा परिणाम काय होईल?

-मध्यप्रतलापर्यंत आकर्षक बलामुळे अल्फाकणांचा वेग वाढेल पण मध्यप्रतल पार केल्यावर आकर्षक बलामुळेच

वाढलेला वेग कमी होईल व अणूबाहेर पडेपर्यंत मूळचा वेग प्राप्त झालेला असेल. ऋणभाराचा काहीही परिणाम न होता अल्फा कण अणूमधून आरपार जाईल.

अपेक्षांच्या या पार्श्वभूमीवर प्रयोगातून निष्पन्न झालेली निरीक्षणे काय आहेत ते बघू या,

- a) 20000 अल्फा कणांपैकी 19990 अल्फा कण दिशाबदल किंवा वेगबदल न होता सोन्याच्या पत्र्यामधून आरपार जातात. याचा अर्थ

अणू बराचसा पोकळ असतो.

- b) 20000 अल्फा कणांपैकी फक्त एक अल्फा कण सोन्याच्या पत्र्यावर आदळून 180 अंशातून विचलन होऊन आल्या दिशेने परत जातो. याचा अर्थ

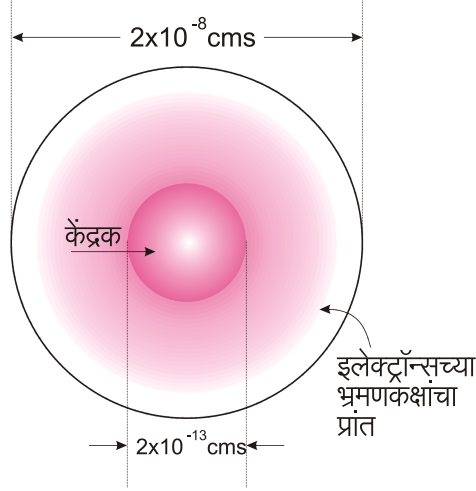
अणूचे वस्तुमान अतिशय छोट्या केंद्राजवळच्या भागात एकवटलेले असते.

- c) २०००० अल्फा कणांपैकी फक्त नऊ अल्फा कण वेगवेगळ्या दिशांना विकिरित होतात. विकिरण प्रभारामुळे होते याचा अर्थ

अणूमधील धनप्रभार असाच केंद्राजवळच्या अतिशय छोट्या भागात एकवटलेला असतो.

b आणि *c* हे निष्कर्ष रुदरफोर्डने अतिशय क्लिष्ट गणिती पद्धतीने काढले होते. आपण आपल्या सोईसाठी त्यांचे सुलभीकरण केले आहे. (ते सोपे केलेले आहेत.)

रुदरफोर्डने सुचवलेली अणूची प्रतिकृती (model) अशी आहे -



अणू हा 10^{-8}cm एवढ्या त्रिज्येचा एक गोल असतो. अणूचा धनभार व वस्तुमान 10^{-13}cm त्रिज्येच्या केंद्रभागात/केंद्रकात एकवटलेले असते.

उरलेल्या 10^{-8}cms च्या गोलात 10^{-13}cm त्रिज्येचे इलेक्ट्रॉन्स विखुरलेले असतात.

हे इलेक्ट्रॉन्स स्थिर असतील का? अशक्य! ते जर स्थिर असतील तर केंद्रकाभोवती जमा होतील. आणि 10^{-8}cms एवढ्या त्रिज्येचा म्हणजेच केंद्रक किंवा इलेक्ट्रॉन्स यांच्या एक लाखपट मोठ्या त्रिज्येचा अणूच निष्पन्न होणार नाही! तेव्हा इलेक्ट्रॉन्स गतिमानच हवेत!

इलेक्ट्रॉन्स अणूच्या केंद्रकापासून कायम वेगळे राहावेत आणि केंद्रकाचा धनभार पूर्ण आच्छादला जावा यासाठी इलेक्ट्रॉन्स केंद्रकाभोवती वर्तुळाकार किंवा लंबाकार कक्षमध्ये अतिशय वेगाने फिरत असणे आवश्यक आहे.

रुदरफोर्डने सुचवलेली अणूची ग्रहगोलीय प्रतिकृती:

अणूचा धनभार आणि वस्तुमान केंद्रकामध्ये एकवटलेले असते. केंद्रकाची त्रिज्या सुमारे 10^{-13} सें.मी. एवढी असते.

केंद्रकाभोवती 10^{-13} सें.मी. एवढ्या त्रिज्येचे ऋणभारित इलेक्ट्रॉन्स सूर्याभोवती फिरणाऱ्या ग्रहांप्रमाणे वर्जुळाकार किंवा लंबाकार कक्षांमध्ये फिरत असतात.

सर्वात बाहेरच्या कक्षेची त्रिज्या सुमारे 10^{-8} सें.मी. एवढी असते. यावरून एकूण अणूची त्रिज्या ठरते.

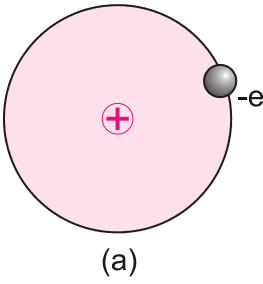




बरेच प्रयोग व निरीक्षणे यावरून अणूची ग्रहगोलीय प्रतिकृती निष्पन्न तर झाली पण पारंपरिक भौतिकशास्त्राने या प्रतिकृतीच्या बाबतीत एक फारच मोठी आपत्ति उभी केली आहे.

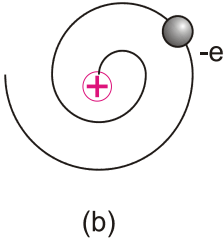
भौतिकशास्त्राचा नियम असे सांगतो की, एखादा प्रभार त्वरणयुक्त गती धारण करित असेल तर त्याच्यापासून प्रारणांच्या स्वरूपात ऊर्जा उत्सर्जित झाली पाहिजे. या उत्सर्जित ऊर्जेमुळे त्याची गतिज ऊर्जा कमी झाली पाहिजे.

या नियमाचा सरळ अर्थ काय होईल ते पाहण्यासाठी ग्रहगोलीय प्रतिकृतीनुसार आपण सर्वात सोप्या हैड्रोजन अणूचा विचार करू. इलेक्ट्रॉन इतकाच धनप्रभार असलेला केवळ एकच घटक केंद्रात असलेला असा हा अणू आहे.



- आकृतीतल्याप्रमाणे एक धनभारीत केंद्रक व त्याच्या भोवती गोलाकार कक्षेत फिरणारा ऋणभारीत इलेक्ट्रॉन असा हा हैड्रोजनचा अणू.
- वरील नियमाप्रमाणे इलेक्ट्रॉन ऊर्जा उत्सर्जित करील आणि सर्पिलाकार

(spiral) कक्षेने कांही वेळातच केंद्रकासन्निध येईल. म्हणजे 10^{-8} सें.मी. त्रिज्येचा हैड्रोजन अणू बनण्याऐवजी 10^{-13}



सें.मी. त्रिज्येची धन व ऋण भारांची एक जोडगोळी (*dipole*) तयार होईल.

असे होण्यात वेळ किती जाईल?
अतिशयच थोडा,
फक्त 10^{-9} cms सेकंद इतका!

याचा अर्थ पारंपरिक भौतिकशास्त्राप्रमाणे हैड्रोजन अणू अस्तित्वात असणे शक्य नाही.

परंतु हैड्रोजन अणूतर निसर्गात विपुल प्रमाणात उपलब्ध आहेत. आणि निसर्गातली तथ्ये (*realities*) हा तर विज्ञानाचा पाया आहे. आले का धर्मसंकट!

या अडचणीतून मार्ग काढायचा तर पारंपरिक भौतिकशास्त्रातल्या काही नियमांना आणि सिद्धांताना मुरड घालावी लागेल तर काही नियम व सिद्धांत अमान्य करून त्यांच्या जागी नवीन नियम व सिद्धांताची प्रतिष्ठापना करावी लागेल असे दिसते.

असे करण्याला बुद्धिला पटतील अशी कांही कारणे आहेत का?

-थोड्याफार प्रमाणात आहेत.

पारंपरिक भौतिकशास्त्रात वस्तुमान (*mass*), लांबी (*length*) आणि काल (*time*) यांचा विचार महत्त्वेच्या मध्यम श्रेणीच्या (*macroscopic scale*) संदर्भातच झालेला आहे. सर्व नियम व सिद्धांतांची प्रायोगिक तपासणी याच श्रेणीतील मापनांच्या (*measurements*) आधारे झाली आहे आणि पारंपरिक भौतिकशास्त्रातले नियम व सिद्धांत या तपासणीच्या कसोटीस उतरले आहेत.

10^{-25} ग्रॅम या श्रेणीचे वस्तुमान, 10^{-8} सें.मी. किंवा 10^{-20} सें.मी. या श्रेणीची अंतरे किंवा 10^{-20} सेकंद या श्रेणीचे कालखंड यांची मापने तर झालेलीच नव्हती पण इतक्या सूक्ष्मतेचा फारसा विचारही झालेला नव्हता.

मध्यम श्रेणीच्या दुनियेत (*microworld*) लागू असणारे नियम व सिद्धांत, सूक्ष्म श्रेणीच्या या अणूंच्या दुनियेत (*microworld*) तसेच्या तसे लागू व्हावेत अशी अपेक्षा करणेच चुकीचे आहे.

अणूंच्या दुनियेत पारंपरिक भौतिकशास्त्राचे काही नियम व सिद्धांत लागू असतील, काही नसतील. कोणते नियम व सिद्धांत लागू आहेत आणि कोणते नाहीत हे प्रयोगांनी, निरीक्षणांनी आणि वेगवेगळ्या विचार प्रणालींचा वापर करूनच ठरवता येईल.

थोडक्यात काय?

अपारंपरिक पद्धतींनी विचार करण्याचीसुद्धा आवश्यकता आहे.

प्रारणांच्या बाबतीत अपारंपरिक विचारांना थोडीफार सुरुवातही झाली होती. या घडामोडींचा परामर्श आपण पुढे घेणारच आहोत. परंतु पारंपरिक भौतिकशास्त्रापेक्षा वेगळ्या दिशेने जाण्याचे अतिशय धैर्याचे काम नील्स बोहर (इ.स. 1885-1962) या डॅनिश शास्त्रज्ञाने केले. आणि हे करित असताना पुंज गतिशास्त्र (*Quantum Mechanics*) या भौतिक शास्त्राच्या अत्याधुनिक शाखेचा पाया घातला.



८



मॅक्स प्लांक
(1858-1947)

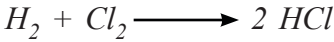
पदार्थांचे अणू आणि ऊर्जेचे अणू

पदार्थ आणि विद्युत यांच्या एकत्र अभ्यासातून ग्रहगोलीय प्रतिकृती निष्पन्न झाली; पण अजून अणूचे निश्चित स्वरूप समजलेले नाही. त्यासाठी पदार्थ आणि ऊर्जा यांचा जोडअभ्यास करायला हवा असे दिसते.

पदार्थाचा म्हणजेच अणूंचा ऊर्जेशी कशा प्रकारचा संबंध आहे?

वनस्पतींच्या पानामधील हरितद्रव्ये (*chlorophyll*) प्रकाशाच्या स्वरूपातील ऊर्जा ग्रहण करून कर्बोदके बनवतात.

H_2 आणि Cl_2 यांचे योग्य प्रमाणातले मिश्रण एखाद्या चंबूमध्ये अंधारात ठेवले तर काहीच घडत नाही. पण चंबूवर निळ्या रंगाचा प्रकाश पाडल्यास प्रकाशाचे शोषण होऊन



अशी रासायनिक अभिक्रिया घडते. म्हणजेच

अणू प्रारणे शोषून घेऊन रासायनिक बदल घडवू शकतात

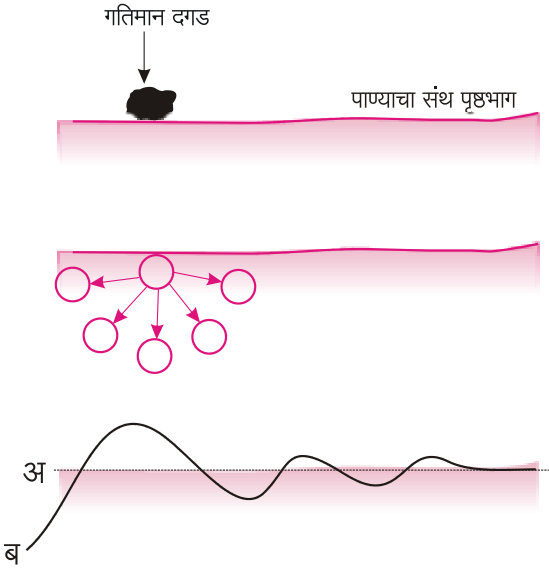
आगपेटीतील काडी बाहेरच्या वेष्टनावरच्या खडबडीत पृष्ठभागाशी घर्षण केल्यावर पेटते. काडीच्या गुलामध्ये रासायनिक अभिक्रिया घडतात आणि उष्णता व प्रकाश मिळतो. म्हणजे

योग्य परिस्थितीत अणू प्रारणे उत्सर्जित करतात.

असे दिसते की अणू व प्रारणे यांचा एकमेकांशी चांगलाच संबंध आहे. तेव्हा त्यांच्या जोडअभ्यासातून अणूचे स्वरूप विशद व्हायला मदत होईल असे वाटते. पण जोड अभ्यासाआधी आपल्याला प्रारणांच्या स्वरूपाचा अभ्यास करायला हवा.

प्रारणांचे तरंगस्वरूप : 'प्रारण (*radiation*) म्हणजे माध्यमाच्या मदतीने किंवा माध्यमाविना ऊर्जेचा एका ठिकाणाहून दुसऱ्या ठिकाणापर्यंत होणारा प्रवास.'

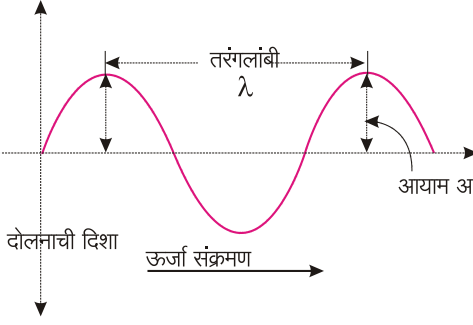
पाणी या माध्यमाच्या पृष्ठभागावर तरंग कसे निर्माण होतात ते प्रथम पाहू या. संध पाण्यावर दगड टाकला तर आकृतीत



दगडाच्या गतिज ऊर्जेमुळे दोलायमान झालेला (*disturbed*) पाण्याचा पृष्ठभाग व निर्माण झालेले तरंग

दाखवल्याप्रमाणे पृष्ठभागाजवळचा प्रत्येक रेणू पृष्ठभागाच्या आतील रेणूंच्या आकर्षक बलामुळे पृष्ठभाग सोडून जात नाही.

गतिमान दगडामुळे अ येथील रेणू ब पर्यंत विस्थापित होतात. परस्परआकर्षणामुळे शेजारच्या रेणूंचे विस्थापन होते. त्यानंतर त्यांच्या शेजारच्या वगैरे...



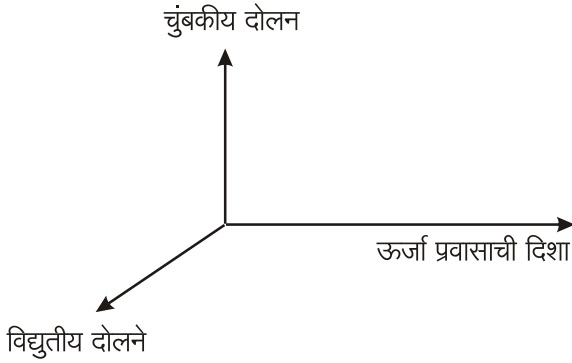
पाण्याच्या स्थितीस्थापकत्वामुळे विस्थापित रेणू मूळ स्थितीच्या दिशेने झेपावतात पण त्यांना मिळालेल्या गतिज ऊर्जेमुळे या झेपा मूळ स्थितीच्या

पलीकडे जातात आणि रेणूची पुढेमागे हालचाल बराच वेळ चालू राहते. रेणू दोलन करतात. दोन शिखरांमधील अंतर म्हणजे तरंगलांबी (*wavelength* λ) मूळ स्थितीपासून जास्तीत जास्त विस्थापनाची मात्रा म्हणजे आयाम (*amplitude* A) एका सेकंदात निर्माण होणाऱ्या तरंगांची संख्या म्हणजे कंप्रता (*frequency* ν) एका सेकंदात तरंग $\nu\lambda$ एवढे अंतर कापतील. हा झाला तरंगांचा वेग (*velocity*) अर्थातच

$$C = \nu\lambda \text{ असा संबंध असेल.}$$

आकृतीत दाखवल्याप्रमाणे ऊर्जासंक्रमणाची दिशा दोलनाच्या दिशेला काटकोनात असते. तरंगात समाविष्ट ऊर्जा तरंगांच्या आयामाच्या वर्गाच्या समप्रमाणात असते. अशा तरंगांना अवतरंग (*transverse waves*) असे म्हणतात. पाण्याच्या पृष्ठभागावरचे तरंग असे असतात. रेणू एका ठिकाणी वरखाली होतात. ऊर्जा पुढे पुढे संक्रमित होते.

‘अवतरंग’ जसे माध्यमाच्या साहाय्याने ऊर्जा संक्रमित करतात तसेच ‘अवतरंग’ माध्यमाशिवायसुद्धा ऊर्जा इकडली तिकडे नेऊ शकतात. सूर्य आणि पृथ्वी यांच्यामध्ये माध्यम नाही. पोकळी (*vacuum*) आहे. तरीही सूर्यापासून प्रारणांच्या स्वरूपात आपल्याला ऊर्जा मिळते.



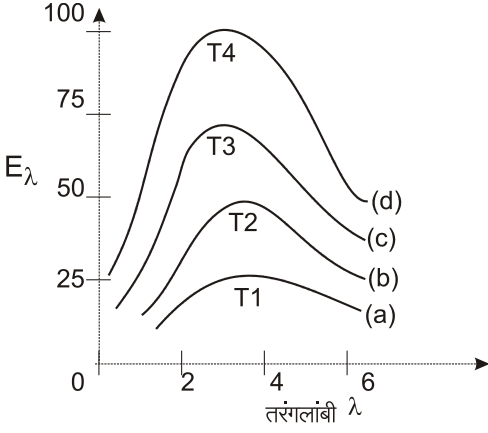
जेम्स क्लार्क मॅक्सवेल (इ.स.1831-1879) याने या प्रारणांचे विद्युत-चुंबकीय स्वरूप स्पष्ट केले.

आकृतीत दाखवल्याप्रमाणे विद्युतीय दोलने आणि चुंबकीय दोलने एकमेकांशी 90° अंशांचा कोन करतात. ऊर्जाप्रवास हा या दोन्ही दिशांशी 90° अंशाचा कोन करतो.

गॅमा किरण, क्ष किरण, अतिनील किरण, प्रकाश, अवरक्त किरण, मायक्रो लहरी आणि रेडिओ लहरी असा हा वाढत्या तरंग लांबीनुसार विद्युत् चुंबकीय प्रारणांचा वर्णपट आहे.

नॅनोमीटर = 10^{-9} मीटर असे लांबीचे एकक वापरल्यास प्रकाशीय तरंगांची तरंगलांबी 400 नॅनोमीटर ते 700 नॅनोमीटर एवढी असते. प्रकाशलहरींची कंप्रता 7.14×10^{14} ते 4.3×10^{14} दोलने/प्रतिसेकंद अशी असते.

तापमानजन्य प्रारणे : आसमंतापेक्षा जास्त तापमान असलेली कोणतीही वस्तू आपली तापमानामुळे समाविष्ट असलेली जादा ऊर्जा विद्युतचुंबकीय प्रकाशीय प्रारणांच्या स्वरूपात उत्सर्जित करित असते.



तरंगलांबी व
या तरंगलांबीची
उत्सर्जित ऊर्जा
यांचे आलेख सोबत
काढले आहेत.

(a) हा आलेख
 T_1 या तापमानाला
असलेल्या वस्तूचा
आहे.

- (b) हा आलेख T_2 या तापमानाला असलेल्या वस्तूचा आहे.
(c) हा आलेख T_3 या तापमानाला असलेल्या वस्तूचा आहे.
(d) हा आलेख T_4 या तापमानाला असलेल्या वस्तूचा आहे.

T या तापमानाला असलेल्या पदार्थाचा आलेख एकुलता एक असा - अनन्यसाधारण (*unique*) असतो. जसा माणसांच्या हाताचा ठसा (*finger print*) हा व्यक्ती ओळखण्यासाठी उपयुक्त असतो तसा हा आलेख पदार्थाचे तापमान (T) ठरवण्यासाठी उपयुक्त असतो.

मॅक्स प्लॉक (इ.स.1858-1947) चा सिद्धांत-

पारंपरिक भौतिकशास्त्रानुसार प्रारणांमध्ये म्हणजे लहरींमध्ये समाविष्ट असलेली ऊर्जा लहरींच्या आयामाच्या (*amplitude*) वर्गाच्या समप्रमाणात असते. त्यामुळे ती कितीही मोठी किंवा कितीही सूक्ष्म असू शकते.

या तत्वानुसार तप्त पदार्थांमधून बाहेर पडणाऱ्या प्रारणांचे आलेख सैद्धांतिक पद्धतीने गणित करून रेखाटले तर ते प्रायोगिक आलेखांशी मुळीच जुळत नाहीत.

बऱ्याच शास्त्रज्ञांनी बरीच वर्षे केलेल्या अशा प्रयत्नांना यश येत नव्हते. इ.स. 1900 मध्ये प्लांकने असे सुचवले की

‘लहरींमध्ये समाविष्ट ऊर्जा ही आयामाच्या वर्गाच्या समप्रमाणात नसते तर कंप्रतेच्या समप्रमाणात असते

$$E = h\nu$$

ऊर्जा = प्लांकचा स्थिरांक \times कंप्रता

कंप्रता ν असेल तर लहरींमधली समाविष्ट ऊर्जा $h\nu$ या राशीच्या पटींमध्ये असेल. म्हणजे ती $h\nu, 2h\nu, 3h\nu, \dots, nh\nu$ अशी असेल. परंतु $1/2 h\nu$ किंवा $1/4 h\nu$ अशी अंशात्मक नसेल.

इथे प्रारणांच्या बाबतीत पारंपरिक भौतिकशास्त्रापेक्षा पूर्णपणे वेगळी भूमिका घेतली आणि प्रारणातील ऊर्जेच्या पुंजीकरणाचे (*quantization*) सूत्र शोधून काढले.

वास्तवात अतिशय महत्त्वाच्या या संकल्पनेबाबत प्लांकचे स्वतःचे मत असे होते की, ‘तापमानजन्य प्रारणाच्या आलेखाचा प्रश्न सोडवण्यासाठी मी $E = h\nu$ ही एक गणिती क्लृप्ती (*device*) वापरली आहे.’ या क्लृप्तीमुळे तापमानजन्य प्रारणाच्या आलेखाचा प्रश्न पूर्णपणे सुटला.

प्रारणांचे पुंजस्वरूप – इ.स. 1905 मध्ये आल्बर्ट आइन्स्टीन (इ.स. 1879-1955) याने धातू आणि विद्युत् चुंबकीय प्रारणे यांच्यातील प्रकाश-विद्युत् परिणाम (*Photoelectric effect*) याचे स्पष्टीकरण दिले.

धातूमधील इलेक्ट्रॉन प्रारणाच्या ‘पुंजातील’ (*quantum*) $h\nu$ एवढी पूर्ण ऊर्जा ग्रहण करतात व धातूच्या स्थायूबाहेर पडतात. कंप्रता कमी असल्याने प्रकाशपुंजात पुरेशी ऊर्जा नसेल तर हा

परिणाम घडतच नाही. म्हणजे अणू व प्रारणे यांच्यात उर्जाविनिमय घडतो त्यावेळी प्रारणे पुंजस्वरूप असल्यासारखीच वागतात. तेव्हा,

प्रारणांचे पुंजस्वरूप हे एक नैसर्गिक तथ्य (*reality*) आहे.

आजवर आपण असेच मानले की प्रारणे ही तरंगस्वरूप असतात. आता असे म्हटले जाते आहे की प्रारणे पुंजस्वरूप असतात. मग नक्की काय आहे? प्रारणांचे स्वरूप द्वैती (*dual*) आहे. काही वेळा प्रारणे तरंगांसारखी वागतात तर काही वेळा पुंजस्वरूपी असल्यासारखी वागतात.

एकाच वेळी एखादी वस्तू तरंगस्वरूप व पुंजस्वरूप (कणस्वरूप) कशी असू शकते? हा विरोधाभास नाही का? म्हटलं तर आहे पण वस्तुस्थिती द्वैती स्वरूपाचीच आहे.

निसर्ग कसा आहे हे निसर्ग ठरवतो. आपण नैसर्गिक वस्तुस्थिती समजावून घेण्याचा प्रयत्न करित असतो. प्रारणांचे द्वैती स्वरूप हे वस्तुस्थितीचे शक्य तेवढे अचूक वर्णन आहे.



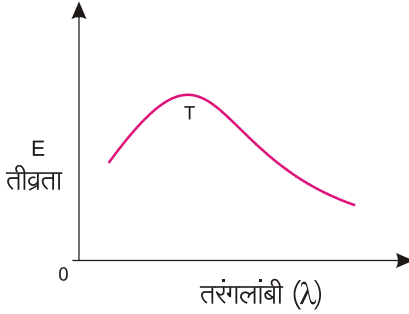
९



जोहान बामर
(1825-1898)

प्रारणे आणि वर्णपट (वर्णपंक्ती)

तापमानजन्य प्रारणांचा वर्णपट : सोबतच्या आकृतीतल्या



तापमानजन्य प्रारणाचा आलेख आपण पाहिलाच आहे.

वर्णपंक्तीमापी (Spectrometer) या यंत्राने याचा अभ्यास केला तर असे म्हणावे लागते की, तरंगलांबी अखंडितपणे (Continuously) बदलत

असलेला हा वर्णपट आहे.

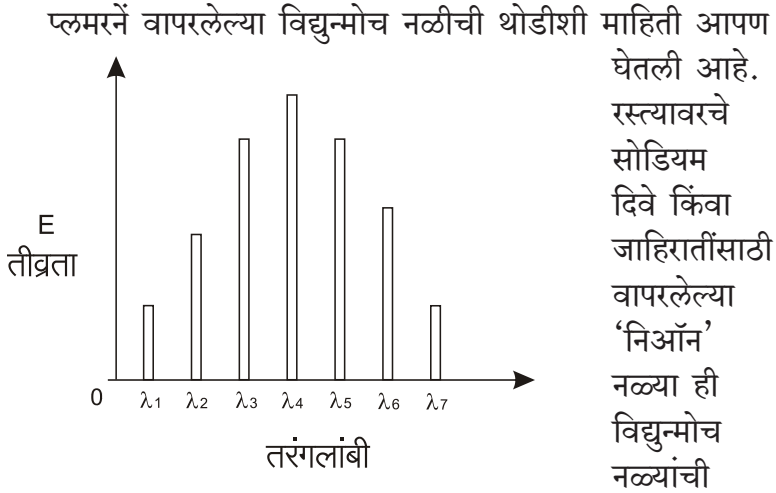
सूर्यप्रकाश लोलकातून (Prism) अपस्कृत (Disperse) झाल्यावर 'तानापिहिनिपाजा' या रंगांचा अखंडित वर्णपट मिळतो. हा 6000 अंश से. तापमान असलेल्या सूर्याच्या पृष्ठभागाचा तापमानजन्य वर्णपट!

या विशिष्ट तापमानाला असलेल्या सर्व पदार्थांचे तापमानजन्य वर्णपट एकसारखेच असतील. अर्थातच $T_1, T_2, T_3 \dots$ अशा निरनिराळ्या तापमानाला असलेल्या पदार्थांचे वर्णपट भिन्न भिन्न असतील.

तापमानावर अवलंबून नसलेले 'पदार्थविशिष्ट' वर्णपट असतात कां ?

- होय! असतात.

विद्युन्मोच नळ्या :



प्लमरच्या विद्युन्मोच नळीत हैड्रोजन वायू एक शंभरांश वातावरणीय दाबाला भरला आणि विद्युत् टोकांमध्ये $10,000V$ एवढे विभवांतर वापरले म्हणजे हैड्रोजनच्या दीप्तीने विद्युन्मोच नळी दीप्तिमान होते. ही दीप्ती वर्णपंक्तीमापीने तपासल्यास वरील प्रमाणे आलेख मिळतो. या दीप्तीत कांही विशिष्ट तरंगलांबीचीच प्रारणे आढळतात, $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots$ याप्रमाणे. हा खंडित आलेख आहे.

वर्णपंक्तीमापीमध्ये λ_1 या तरंगलांबीचे प्रारण एका रेषेच्या स्वरूपात दिसते. अशा वर्णपटाला रेषा वर्णपट (*Line Spectrum*) असे म्हणतात. प्रत्येक वायूच्या स्वरूपावर त्याच्या रेषा वर्णपटा मध्ये कोणत्या रेषा असाव्यात हे ठरते.

हैड्रोजनच्या रेषावर्णपटाचा अभ्यास बामर या शास्त्रज्ञाने केला. त्याला असे आढळले की या वर्णपटातील रेषांचे चारपाच वेगवेगळे गट पाडता येतात.

या सर्वांवर कडी करणारी एक गोष्ट बामरला आढळली, ती म्हणजे हे सर्व रेषासंच केवळ एका गणिती सूत्राने दर्शवता येतात. ते बामरचे सूत्र पाहू या.

वर्णपटातील रेषेची तरंगलांबी ही जशी एक ओळख आहे, तशीच कंप्रता

$$v = \frac{c}{\lambda} = \frac{\text{वेग}}{\text{तरंगलांबी}} \quad \text{ही दुसरी ओळख आहे.}$$

बामरचे सूत्र असे आहे :

$$\text{कंप्रता } v = R^* \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

R^* सुधारित रिडबर्ग स्थिरांक

$$n_1 < n_2$$

(a) $n_1 = 1$ व $n_2 = 2, 3, 4, \dots$ याने लायमन रेषासंच मिळतो.

(b) $n_1 = 2$ व $n_2 = 3, 4, 5, \dots$ याने बामर रेषासंच मिळतो.

(c) $n_1 = 3$ व $n_2 = 4, 5, 6, \dots$ याने पाशन रेषासंच मिळतो.

(d) $n_1 = 4$ व $n_2 = 5, 6, 7, \dots$ याने ब्रॅकेट रेषासंच मिळतो.

प्रारणे आणि अणू यांच्यातील ऊर्जा विनिमयामुळे हे वर्णपट निर्माण होतात.

बामरच्या सूत्राचा हैड्रोजनच्या अणूशी संबंध कसा जोडायचा हा एक यक्षप्रश्न होता.





नील्स बोहर
(1885-1962)

आता आपली युगप्रवर्तक बोहरची अणुप्रणाली नीट समजावून घेण्यासाठीची पूर्वतयारी झाली आहे. पारंपरिक भौतिकशास्त्रात नसलेल्या खालील संकल्पना बोहरने स्वीकारल्या :

- अणू इतक्या सूक्ष्म संघातांना (*Systems*) पारंपारिक भौतिकशास्त्रातील सर्व नियम लागू पडतील अशी खात्री देता येत नाही.
- प्रारणे पुंजस्वरूप असतात. ν या कंप्रतेच्या प्रारणात समाविष्ट ऊर्जा $h\nu$ किंवा त्याच्या पटीत असते.
 $E = h\nu$ h = प्लाँकचा स्थिरांक.
- अणू आणि प्रारणे यातील ऊर्जाविनिमयात प्रारणे पुंजस्वरूप असल्यासारखी वागतात.

सोपेपणासाठी बोहरने फक्त सर्वात सोप्या हैड्रोजनच्या अणूचा विचार केला आणि असे सुचविले की

हैड्रोजनच्या अणूमध्ये धनभारित केंद्रकाभोवती फिरणारा इलेक्ट्रॉन जर संमत (*Allowed*) कक्षेत असेल तर त्याला ऊर्जा उत्सर्जित करावी लागणार नाही.

यात पारंपारिक भौतिकशास्त्रापेक्षा वेगळेपणा कोणता आहे आणि तो कशामुळे उत्पन्न झाला आहे ते आपण समजावून घेऊ या:

1. कक्षांचा आकार अखंडितपणे (*Continuously*) बदलू शकत नाही तर खंडितपणे, टप्प्यांनीच (*Discretely*) बदलू शकतो.
2. संमत कक्षांमध्ये ऊर्जाउत्सर्जनाचा पारंपारिक नियम लागू नसतो.

इलेक्ट्रॉन या 'संमत' कक्षांपैकी कुठल्यातरी एकीतच असू शकेल. अन्य कोठेही नाही. असंमत कक्षांचा विचारहि अशक्य आहे हे आपण मान्य करायला हवे.

आता संमत कक्षा कशा ठरवायच्या ?

त्यासाठी बोहरने प्लांकच्या स्थिरांकाचाच वापर करण्याचे ठरवले. प्लांकचा स्थिरांक ' h ' हा मात्रेने (किंमतीने) 6.625×10^{-34} joule-sec. इतका आहे. म्हणजेच ' h ' मोजण्याचे एकक joule-sec. हे आहे.

हैड्रोजन अणूच्या धनभारित केंद्रकाभोवती गोलाकार कक्षेत फिरणाऱ्या इलेक्ट्रॉनशी संबंधित आणि joule-sec. या एककात मोजता येईल अशी एकच राशी दिसत होती. ती होती इलेक्ट्रॉनचा चक्रीय संवेग. (*angular momentum*)!

m = इलेक्ट्रॉनचे वस्तुमान

v = इलेक्ट्रॉनचा वेग

r = इलेक्ट्रॉनच्या कक्षेची त्रिज्या

h = प्लांकचा स्थिरांक

$1, 2, 3, \dots n$ = कक्षाक्रमांक

बोहरने प्लांकच्या पद्धतीने इलेक्ट्रॉनचा चक्रीय संवेग असा पुंजीकृत (*Quantize*) केला.

$$\text{इलेक्ट्रॉनचा चक्रीय संवेग} \quad mvr = \frac{nh}{2\pi}$$

पारंपारिक भौतिकशास्त्रापासूनच्या वेगळेपणाचा हा तिसरा मुद्दा आहे.

- 3 पदार्थकणाशी संलग्न (*related to a material particle*) अशी चक्रीय संवेग ही राशीसुद्धा निसर्गात पुंजीभूत (Quantized) स्वरूपात

$$\frac{h}{2\pi}, \frac{2h}{2\pi}, \dots, \frac{nh}{2\pi} \text{ अशा पुंजस्वरूपातच आढळते.}$$

इलेक्ट्रॉन धनभारित केंद्रकाच्या आकर्षक बलक्षेत्रात असतो. सर्वात कमी ऊर्जेची कक्षा म्हणजे सर्वात कमी चक्रीय संवेगाची कक्षा!

पहिली कक्षा $n = 1$. हिची ऊर्जा E_1 अशी दर्शवू.
दुसरी कक्षा $n = 2$ आणि ऊर्जा E_2 वगैरे वगैरे.

$E_1, E_2, E_3, \dots, E_7, \dots, E_n$ ही वाढत्या ऊर्जेची श्रेणी असेल आणि 'संमत' कक्षा पहिली, दुसरी, तिसरी ... n क्रमांकाची अशा दर्शविता येतील.

पुंजीभूत (*Quantized*) चक्रीय संवेगाच्या आधारे n क्रमांकाच्या संमत कक्षेमधील इलेक्ट्रॉनच्या ऊर्जेचे गणित केल्यावर असे आढळले की,

$$n \text{ क्रमांकाच्या संमत कक्षेतील इलेक्ट्रॉनची ऊर्जा } E_n = \frac{hR^*}{n^2}$$

R^* सुधारित रिडबर्ग स्थिरांक

h = प्लांकचा स्थिरांक

$n = 1, 2, 3, \dots, n$

बोहरने संमत कक्षांच्या संकल्पनेचा विचार मांडून पारंपारिक भौतिकशास्त्राच्या मर्यादा स्पष्ट केल्या आणि अणूशी संलग्न राशींचे पुंजीकृत स्वरूप (*Quantum nature*) विशद करून एका नव्या शास्त्राचा पाया घातला.

संमत कक्षेची ऊर्जा $E_n = \frac{h R^*}{n^2}$ आणि संमत कक्षांमधील संभाव्य स्थित्यंतरे यांचा विचार एकत्रितपणे केला की, बामर सूत्र निष्पन्न होते.

हैड्रोजन अणूमधील इलेक्ट्रॉन हा सर्वसाधारणपणे कमीत कमी ऊर्जेच्या E_1 या पहिल्या कक्षेत असेल. प्रारणे किंवा अन्य स्वरूपात या इलेक्ट्रॉनला ऊर्जा मिळाल्यास तो E_2, E_3, E_4 अशा उच्चऊर्जास्थितीत जाईल.

कुठलाही संघात (*System*)-इथे हैड्रोजन अणू-उच्चऊर्जा स्थितीत अस्थिर असतो. त्यामुळे E_2, E_3, E_4 अशा उच्चऊर्जास्थितीमधून इलेक्ट्रॉन एकाच उडीत किंवा टप्प्याटप्प्याने E_1 या स्थिर स्थितीत येईल.

समजा E_{n_2} या उच्चऊर्जास्थितीतून E_{n_1} अशा कमी ऊर्जेच्या स्थितीत इलेक्ट्रॉनचे स्थित्यंतर झाले तर काय होईल? जादाची $E_{n_2} - E_{n_1}$ एवढी ऊर्जा अणूबाहेर पडायला हवी.

इथे परत बोहरच्या प्रतिभेचा प्रत्यय येतो. त्याने असे सुचवले की, हा ऊर्जाफरक प्रारणाच्या स्वरूपात अणूबाहेर पडतो. प्रारणाची कंप्रता ν ही अशी ठरेल.

$$\text{ऊर्जाफरक } E_{n_2} - E_{n_1} = h R^* \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) = h \nu$$

म्हणून $\nu = R^* \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$ हे बामरचे सूत्र निष्पन्न होते.

चौकटीतील सूत्राला बोहरचा कंप्रता निकष (*Bohr's Frequency Rule*) असे म्हणतात.

एकादी जादूची कांडी फिरावी तसे वरकरणी कांहीही संबंध दिसत नसलेले बामरचे सूत्र आणि संमत इलेक्ट्रॉन कक्षा यांच्यातील 'संबंध' इतक्या सोपेपणाने आणि सहजपणे निष्पन्न झाला हे बोहरच्या प्रतिकृतीचे सामर्थ्य आहे.

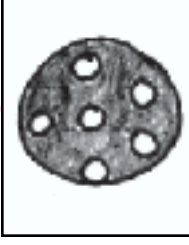
बोहरने त्याच्या अणुप्रणालीद्वारे सूक्ष्म अणू आणि त्याहून सूक्ष्मतर अणुघटक यांचे नवीन गतिशास्त्र 'पुंजगतिशास्त्र' (*Quantum Mechanics*) या शास्त्राचा पाया घातला.

यापुढील कित्येक वर्षे अनेक शास्त्रज्ञांनी या नवीन शास्त्रात संशोधन केले. या शास्त्राचे बरेचसे परिपूर्ण भावंड *Quantum Electrodynamics* हे आता सुप्रतिष्ठित झालेले आहे. क्लिष्ट गणिती पद्धतींवर आधारित अशा या शास्त्राचा सखोल अभ्यास आपल्याला इथे करणे शक्य नाही. पण यातील मूलभूत संकल्पना जेवढी शक्य आहे तेवढी आपण समजून घेऊ.

या नवीन गतिशास्त्रानें 'मानसचित्रे बनवू नका कारण ती पूर्णपणे बरोबर नसतात' अशी धोक्याची सूचना दिलेली आहे. तेव्हा आपण जी मानसचित्रे बनवू ती केवळ आपल्याला अणुसंरचना नीट समजावी या उद्देशानें आपण बनवणार आहोत. वस्तुस्थितीच्या या प्रतिकृती (*Models*) आहेत. वस्तुस्थिती नव्हे एवढी खूणगाठ बांधून आपण हा उद्योग करणार आहोत.

शेवटचा शेरा *Quantum Electrodynamics* या प्रणालीनें भौतिकशास्त्र, रसायनशास्त्र आणि जीवशास्त्र यातील जवळजवळ सर्व घटनांचे (*Phenomena*) यशस्वी स्पष्टीकरण दिलेले आहे.

बोहर प्रणाली ही अन्य कुठल्याही प्रणालीपेक्षा अधिक सर्जनशील व प्रेरणादायी ठरली आहे.



बोहरने त्याची हैड्रोजन अणूसंबंधीची प्रणाली सन 1913 मध्ये सुचवली. त्याच्या आधी व नंतर त्यासंबंधीचे प्रयोग व निरीक्षणे चालूच होती.

हैड्रोजन अणूच्या धनभारित केंद्रकाचे गुणधर्म जाणून घेण्यासाठी रुदरफोर्ड व इतरांनी बरेच प्रयोग केले.

हैड्रोजनने भरलेल्या विद्युन्मोच नळीच्या ऋणटोकामध्ये एक छिद्र करून त्या छिद्रातून येणाऱ्या कणांचा म्हणजेच कॅनॉल किरणांच्या कणांचा अभ्यास केल्यावर त्यांचे गुणधर्म असे आढळले –

प्रभार 1.6×10^{-19} कुलोम
(म्हणजे बरोबर इलेक्ट्रॉन एवढाच पण धनभार)
वस्तुमान 1.6×10^{-24} ग्रॅ.
त्रिज्या 10^{-13} सें.मी.

हे कॅनॉल कण म्हणजे हैड्रोजनची केंद्रे! 1914 साली रुदरफोर्डने त्यांना 'प्रोटॉन' हे नाव दिले.

1919 साली रुदरफोर्डने सर्व अणूंच्या केंद्रकामधील धनभार धारण करणारे घटक 'प्रोटॉन्स' असावेत असे सुचवले. प्रोटॉनचे वस्तुमान हैड्रोजनच्या अणूच्या वस्तुमानाइतकेच असते.

प्रातिनिधिक अणूची प्रतिकृती ही केंद्रकामध्ये आवश्यक तेवढे प्रोटॉन्स व केंद्रकाबाहेर तेवढेच वेगवेगळ्या कक्षांमध्ये भ्रमण

करणारे इलेक्ट्रॉन्स अशी झाली. पण अशा अणूचे वस्तुमान वास्तवातल्या अणूच्या वस्तुमानाच्या तुलनेने अपुरे होते.

इथे रुदरफोर्डच्या प्रतिभेचा प्रत्यय येतो. 1920 साली त्याने सुचवले की, जवळजवळ प्रोटॉन एवढ्याच वस्तुमानाचे पण प्रभाररहित असे कण केंद्रकाचे घटक असले पाहिजेत. त्यांना त्याने 'न्यूट्रॉन' हे नाव दिले.

1932 साली चॅडविक या शास्त्रज्ञाने या न्यूट्रॉन्सचा शोध लावला. या न्यूट्रॉन्सचे गुणधर्म असे:

प्रभार - शून्य

वस्तुमान 1.6×10^{-24} ग्रॅ.

(प्रोटॉनपेक्षा किंचित जास्त वस्तुमान)

त्रिज्या 10^{-13} सें.मी.

आता प्रातिनिधिक अणूची प्रतिकृती तयार झाली, ती अशी—

1. केंद्रकामध्ये Z एवढे प्रोटॉन्स. Z ला अणुअंक म्हणतात.
2. केंद्रकामध्ये N एवढे न्यूट्रॉन्स.
3. केंद्रकीय कणांची एकूण संख्या $A = Z + N$ याला अणुवस्तुमानांक म्हणतात.
4. केंद्रकाबाहेर Z एवढे इलेक्ट्रॉन्स वेगवेगळ्या कक्षांमध्ये भ्रमण करतात. केंद्रकाचा धनभार केंद्रबाह्य इलेक्ट्रॉन्स आच्छादून टाकतात. त्यामुळे एकूण अणू प्रभाररहित भासतो.
5. पुंजभौतिकीच्या आधारावर बोहरने असे दाखवले की n क्रमांकाच्या कक्षेमध्ये जास्तीत जास्त $2n^2$ एवढे इलेक्ट्रॉन सामावू शकतात. ही माहिती आपण गृहीत धरणार आहोत.

6. इलेक्ट्रॉन्सचे वस्तुमान नगण्य असते. हैड्रोजन अणूच्या वस्तुमानाला आपण अणूवस्तुमान एकक (*Atomic Mass Unit*) *amu* असे नाव देऊ.

$$A = Z + N = \text{अणूचे } amu \text{ मधील वस्तुमान.}$$

A हा नेहमी पूर्णांक असतो.

प्रभाराचे एकक आपण प्रोटॉनवरील प्रभार हे ठरवू.

प्रोटॉनवरील प्रभार $+1$

इलेक्ट्रॉनवरील प्रभार -1

$$Z = \text{अणूच्या केंद्रकावरील धनभार}$$

$$= \text{अणूच्या केंद्रकातील प्रोटॉन्सची संख्या.}$$

Z हा नेहमी पूर्णांक असतो.

Z म्हणजे केंद्रकाबाहेरील इलेक्ट्रॉन्सची संख्या.

N हा नेहमी पूर्णांक असतो.

7. X या संज्ञेच्या अणूचे लेखन ${}_Z^A X$ असे करतात. संज्ञेच्या वरचा आकडा अणुवस्तुमानांक, खालचा आकडा अणुअंक.

${}_Z^A X$ अशा प्रकारे लेखन केलेला अणू याचा संबंध केंद्रकीय अभिक्रिया, किरणोत्सारिता व समस्थानकांची नोंद एवढ्यापुरताच येईल.

आपल्या प्रातिनिधिक अणूची ही प्रतिकृती निर्माण करण्यात बोहर बरोबरच रुदरफोर्ड, सॉमरफेल्ड आणि इतर शास्त्रज्ञांचा सहभाग आहे हे आपण लक्षात ठेवले पाहिजे.

1915 साली सॉमरफेल्डने असे सुचविले की, इलेक्ट्रॉन्सच्या गोलाकार कक्षांबरोबर लंबवर्तुळाकार कक्षासुद्धा शक्य आहेत. आपल्या अभ्यासकक्षेबाहेरच्या अभ्यासानुसार असे दाखवले गेले की –

n क्रमांकाच्या 'संमत' कक्षेच्या ' n ' एवढ्या उपकक्षा असल्या पाहिजेत. या उपकक्षा लंबाकार, दीर्घलंबाकार, अतिलंबाकार अशा हव्यात. हे स्पष्ट दर्शविण्यासाठी s, p, d, f, g अशा अक्षरांचा संमत कक्षा क्रमांकाबरोबर वापर व्हायला लागला, तो असा -

$ns - n$ क्रमांकाची गोलाकार (s) कक्षा

$np - \dots\dots " \dots\dots$ लंबाकार (p) कक्षा

$nd - \dots\dots " \dots\dots$ दीर्घलंबाकार (d) कक्षा

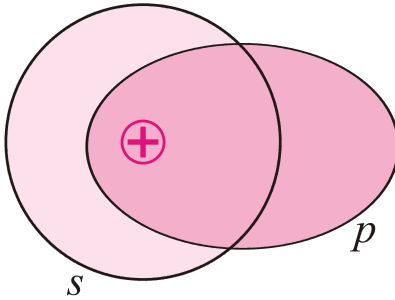
$nf - \dots\dots " \dots\dots$ अतिलंबाकार (f) कक्षा

आतापर्यंत तर आपण हे गृहीत धरून चाललो आहोत की n क्रमांकाच्या कक्षेतील सर्व इलेक्ट्रॉन्सची E_n एवढी समान ऊर्जा आहे.

हे खरे आहे कां? याचे उत्तर नाही असे आहे.

केंद्रकाभोवती गोलाकार कक्षेमध्ये फिरणाऱ्या इलेक्ट्रॉनची

ऊर्जा E_{ns} आहे असे धरू. लंबाकार कक्षेमध्ये फिरणाऱ्या इलेक्ट्रॉनला आकर्षक बलकेंद्रापासून दूर जावे लागते. असे होण्यासाठी त्याची ऊर्जा थोडीशी कां होईना पण ज्यादा हवी. लंबाकार जितका जास्त



तितकी वाढीव ऊर्जापण जास्त.

म्हणजे या कक्षेमध्ये वाढत्या ऊर्जाक्रमाने

$E_{ns}, E_{np}, E_{nd}, E_{nf}, \dots\dots$

अशी उपकक्षांची ऊर्जा हवी. या उपकक्षा दर्शवण्यासाठी आपण अंक आणि अक्षरे यांच्या ns, np, nd, nf, \dots अशा जोडगोळ्या वापरू. इलेक्ट्रॉन कोणत्या कक्षेतील कोणत्या उपकक्षेत आहे हे दाखवण्यासाठी या जोडगोळ्या वापरू.

आपल्या प्रातिनिधिक अणूच्या आधारे आपल्याला करायचा यापुढील अभ्यास सुलभ व्हावा म्हणून आपण या कक्षा-उपकक्षांची सारणी (तक्ता) तयार करू या. हे करण्याआधी एक नोंद घेऊ या. बोहर व सॉमरफेल्ड यांनी चक्रीय संवेगाबरोबरच इलेक्ट्रॉनशी संलग्न अशा अन्य तीन राशींचे पुंजीकरण (*Quantization*) केले आणि n क्रमांकाच्या कक्षेमध्ये जास्तीत जास्त $2n^2$ एवढे इलेक्ट्रॉन सामावू शकतात असे दाखवले. हे आपण गृहीत धरणार आहोत.

कक्षा-उपकक्षांची सारिणी

मुख्य कक्षा क्र.	उपकक्षांची संख्या	उपकक्षेचे नांव	उपकक्षेतील जास्तीत जास्त इलेक्ट्रॉन्सची संख्या	पूर्णकक्षेतील इलेक्ट्रॉन्सची संख्या
1	1	1s	2	2
2	2	2s 2p	2 6	8
3	3	3s 3p 3d	2 6 10	18
4	4	4s 4p 4d 4f	2 6 10 14	32
5	5	5s 5p 5d 5f 5g	2 6 10 14 18	50

1. बाण हे कक्षेच्या अंतर्गत वाढता ऊर्जाक्रम दाखवतात.
2. कक्षेबाहेर हा क्रम काय असेल? 5s या उपकक्षेची ऊर्जा 4f या उपकक्षेच्या उर्जेपेक्षा जास्त असेल कां? खात्री नाही.
3. मग सर्व कक्षा-उपकक्षांच्या एकत्रित विचार करून ऊर्जाक्रम ठरवता येईल का? सैद्धांतिक पद्धतीने 'नाही'. असा उर्जाक्रम हा केवळ प्रयोगाधिष्ठित असावा लागेल.



आतापर्यंत आपण 'अणुप्रणाली' तील बऱ्याच संकल्पना सम जावून घेतल्या. एरवी विज्ञानातल्या संकल्पना नीट रुजवण्यासाठी - पक्क्या करून घेण्यासाठी प्रयोगांचा आधार घेता येतो, पण 'अणुप्रणाली' तील फारच थोड्या संकल्पनांसाठी प्रायोगिक आधार उपलब्ध आहेत आणि त्यासंबंधीचे प्रयोगहि फार क्लिष्ट आहेत. अशा परिस्थितीत काय करता येते हे आइन्स्टीनसारख्या महान् शास्त्रज्ञांनी दाखवले आहे. सापेक्षतावाद विशद करताना आइन्स्टीनने वैचारिक प्रयोगांचा (*Thought Experiments*) आधार घेतला होता.

तेव्हा संकल्पना नीट रुजवण्यासाठी आपणही वेगळी वैचारिक पद्धत वापरू. ती म्हणजे संकल्पनांचा वेगवेगळ्या पद्धतीने विचार करणे, एक किंवा अनेक वैचारिक खेळ खेळणे! बटणे दाबण्याचे 'व्हिडियो गेम्स' खूप लोकप्रिय आहेत. आपल्या वैचारिक खेळांमध्ये आपण आपल्या मेंदूची बटणे दाबू या! अर्थातच आपला वैचारिक खेळ हा कांही नवीन तत्वांची मांडणी करणार नाही आहे. तशी आपली क्षमता नाही आणि तो आपल्या खेळाचा उद्देश नाही. आपल्या खेळाचा उद्देश आहे आपण नुकत्याच माहिती करून घेतलेल्या नवीन संकल्पना आपल्याच मनात नीट रुजवणे.

आपल्या खेळाचे नाव आहे 'अशी की तशी.' अणुसंरचना म्हणजे अणूमध्ये असलेल्या इलेक्ट्रॉन्सचे वितरण वेगवेगळ्या कक्षा व उपकक्षांमध्ये कशाप्रकारे झालेले असते त्याची माहिती!

ही माहिती इतकी महत्त्वाची कां आहे ?

कारण अणूचे जवळजवळ सर्व गुणधर्म हे अणूमधील निरनिराळ्या पद्धतीने वितरित झालेले इलेक्ट्रॉन्स कसे वागतात यावरून ठरत असतात. उदा. बाह्यकक्षेतील एकुलता एक इलेक्ट्रॉन देऊन टाकायला उत्सुक असलेले हैड्रोजन व अल्कली धातूंचे अणू उत्तम क्षपणक (*Reducing Agents*) आहेत; आपल्या बाह्यकक्षेत जादा इलेक्ट्रॉन्स समाविष्ट करायला उत्सुक असलेले ऑक्सिजन आणि हेलोजेन्सचे अणू उत्तम ऑक्सिडीकारक (*Oxidizing Agents*) आहेत; आपल्या बाह्यकक्षेतल्या इलेक्ट्रॉन्सच्या संख्येत कुठलाहि बदल करायला तयार नसलेले राजवायूंचे अणू राजवायूंना रासायनिकदृष्ट्या निष्क्रिय बनवतात वगैरे वगैरे.

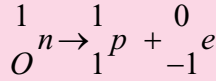
A_ZX हा आपला प्रातिनिधिक अणू आहे. त्याला दृष्टिसमोर ठेवून या खेळाची सुरुवात कशी आणि कुठे करायची ?

या लेखनातून कार्य अर्थ निघतो ? या अणूमध्ये एकही केंद्रकीय कण (प्रोटॉन्स किंवा न्यूट्रॉन) नाही. अशा प्रकारचे लेखन कुठल्याही अणूचा निर्देश करीत नाही.

आता विचार करू 1_0X या चिन्हाचा. या अणूमध्ये प्रोटॉन नाही. अणूत जितके प्रोटॉन्स असतात तितकेच इलेक्ट्रॉन्स असतात. तेव्हा या अणूत इलेक्ट्रॉन नाही. थोडक्यात 1_0X हा अणूच नाही. मग हे चिन्ह काय दर्शवते आहे ? हे चिन्ह वस्तुमानांक एक असलेली, परंतु अणुअंक शून्य असलेली म्हणजे प्रोटॉन नसलेली वस्तू दर्शवते आहे. ही वस्तू आहे एक न्यूट्रॉन!

न्यूट्रॉन हा अणू आहे कां ? मुळीच नाही. तेव्हा त्याचे लेखन आपण 1_0n असे करू. या न्यूट्रॉनला केंद्राबाहेर अस्तित्त्व आहे कां ? आहे. निसर्गात काही विशिष्ट परिस्थितीत मोकळा (*Free*) न्यूट्रॉन असू शकतो.

न्यूट्रॉन हा अणू नाही, पण निसर्गात असू शकणारा एक पदार्थकण (*Material Particle*) आहे. हा न्यूट्रॉन सुस्थिर (*Stable*) आहे का? नाही. या न्यूट्रॉनचे खालील केंद्रकीय अभिक्रियेने प्रोटॉनमध्ये परिवर्तन होते.



प्रोटॉनचे लेखन आपण 1_1p असे केले आहे. तेच आपण 1_1x असेही करू शकतो. अभिक्रियेत निर्माण होणारा इलेक्ट्रॉन या चिन्हाने दर्शविला आहे.

आता प्रश्न निर्माण असा होतो की, न्यूट्रॉन म्हणजे प्रोटॉन व इलेक्ट्रॉन यांची जोडगोळी आहे का? आणि अभिक्रिया होते म्हणजे ही जोडगोळी फुटते असे आहे का? या दोन्ही प्रश्नांची उत्तरे अजिबात नाही अशी आहेत.

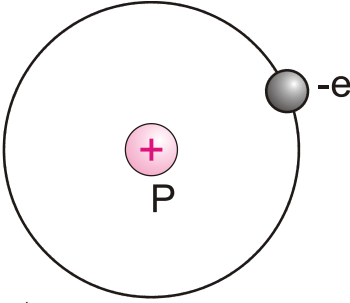
न्यूट्रॉन, प्रोटॉन आणि इलेक्ट्रॉन हे निसर्गात आढळणारे तीन मूलभूत कण (*Fundamental particles*) आहेत. त्यांचे गुणधर्म भिन्नभिन्न आहेत आणि अणूंच्या निर्मितीत हे तिन्ही कण आवश्यक आहेत.

या अभिक्रियेत निर्माण झालेले प्रोटॉन आणि इलेक्ट्रॉन हे कण सुस्थिर आहेत का? होय. हे दोन्ही कण प्रचंड सुस्थिर आहेत. न्यूट्रॉन्स केंद्रकांमध्ये सुस्थिर असू शकतात, पण केंद्रकाबाहेरचे मोकळे न्यूट्रॉन्स अस्थिर असतात.

या चिन्हाचा आता आपण विचार करू या. इथे आपल्या खेळाला सुरुवात होत आहे.

${}^1_1x A = I$ म्हणजे वस्तुमानांक एक. $Z = I$ म्हणजे अणुअंक एक, म्हणजे अणूतल्या प्रोटॉनची संख्या एक.

साहजिकच अणूतल्या केंद्रबाह्य इलेक्ट्रॉन्सची संख्या एक.
असा अणू कोणता? अर्थात हैड्रोजनचा!



केवळ एक प्रोटॉन केंद्रकात असलेला आणि त्याच्या भोवती $1s$ या गोलाकार कक्षेत फिरणारा एकच इलेक्ट्रॉन असे हैड्रोजन अणुचे चित्र आपण काढले आहे.

${}^1_1\text{H}$ हैड्रोजन अणुप्रतिकृती

**पहिला प्रश्न – हे चित्र
प्रमाणाबरहुकूम आहे कां?**

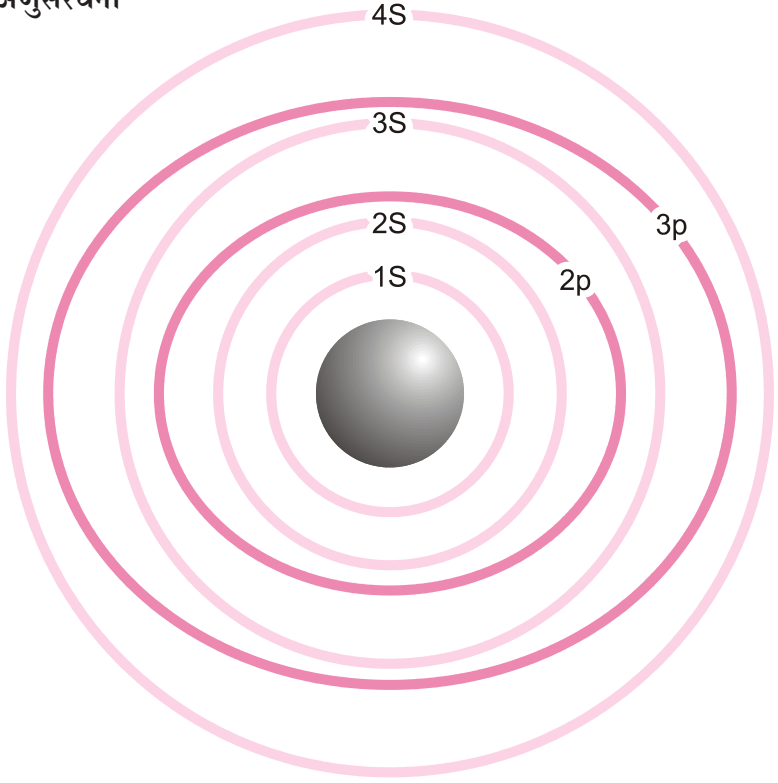
मुळीच नाही. चित्रातल्या 7mm व्यासाच्या प्रोटॉनपासून 5mm व्यासाच्या इलेक्ट्रॉनला योग्य अंतरावर म्हणजे प्रमाणाबरहुकूम अंतरावर ठेवायचे म्हणजे 700 मीटर एवढ्या अंतरावर ठेवावे लागेल. कारण अणूचा आकार प्रोटॉनच्या आकाराच्या लाखपट मोठा आहे. आपले कुठलेही चित्र प्रमाणाबरहुकूम असणार नाही. तेवढे मोठे कागद आपल्याजवळ नाहीत.

पण 'अणू बराचसा पोकळ आहे' या विधानाचा अर्थ वरील विवेचनावरून आपल्याला नीट कळेल.

आपली चित्रे आपल्याला अणुविषयक संकल्पना नीट समजाव्यात एवढ्यासाठीच आहेत. आपल्या खेळाचा एक नियम आपण लक्षात घेऊ या.

1. इलेक्ट्रॉन गोलाकार तसेच लंबाकार कक्षांमध्ये फिरतात.
2. मुख्य कक्षा क्रमांकाएवढ्या उपकक्षा असतात.

अणुसंरचना



3. गोलाकार उपकक्षा s या अक्षराने दाखवतात.
उदा. $1s, 2s, 3s$.
लंबाकार वाढतो तशा उपकक्षा p, d, f , या अक्षरांनी दाखवतात.
उदा. $2p, 3d, 4f$ इ.
4. लंबाकार उपकक्षांची ऊर्जा गोलाकार उपकक्षांपेक्षा वाढती असते.
'प्रोटॉन, न्यूट्रॉन आणि इलेक्ट्रॉन' यांचा वापर करून आपण आपल्याला हव्या तशा अणुप्रतिकृती बनवू शकतो. पण

निसर्गातली वास्तवता – निसर्गात तसा अणू अस्तित्वात आहे की नाही – यावर आणि केवळ यावरच आपली प्रतिकृती योग्य आहे किंवा नाही हे ठरेल. आपली प्रतिकृती निसर्गात असलेल्या अणूची असेल तरच ती मान्य होईल.’

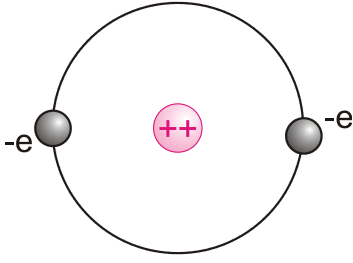
आपण बनवलेल्या अणुअंक एक असलेल्या हैड्रोजन अणुप्रतिकृतीचे काय? निसर्गात असा प्रतिकृतीने चित्रित केलेला अणू अस्तित्वात आहे. तुम्हा-आम्हांला माहिती असलेल्या हैड्रोजन या मूलद्रव्याचा हा अणू आहे. प्रतिकृती मान्य!

आपल्या या नुसत्या वैचारिक खेळाला थोडीशी हस्तव्यवसायाची जोड देऊ या. सोबतच्या अणुसंरचना या आकृतीला एका जाड पृष्ठपत्रावर (7 Ply किंवा 9 Ply कार्डबोर्डवर) चिकटवू. या आकृतीवर स्पंजाचे तांबडे लहान तुकडे साध्या टाचणीने काळ्या केंद्रकावर खोचू या. हे झाले केंद्रांतर्गत प्रोटॉन्स. एक प्रोटॉन, एक स्पंज, एक टांचणी! याच पद्धतीने स्पंजाचे निळे तुकडे न्यूट्रॉन म्हणून वापरू व स्पंजाचे हिरवे तुकडे इलेक्ट्रॉन म्हणून वापरू.

कार्डबोर्डवर हैड्रोजन ची प्रतिकृती कशी बनवायची?
काळ्या केंद्रकांत एक तांबडा स्पंज टांचणीने खोचला. हा झाला केंद्रकातला एकुलता एक प्रोटॉन. $1s$ या उपकक्षेवर एक हिरवा स्पंज टांचणीने खोचला. हा झाला $1s$ या उपकक्षेत फिरणारा एकुलता एक इलेक्ट्रॉन. अशा रीतीने हैड्रोजनची प्रतिकृती बोर्डावर तयार झाली.

याप्रमाणे आपला विचार आपण खेळाच्या स्वरूपांत बोर्डावर आणू या.

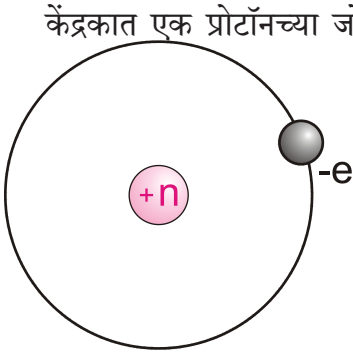
आता अणुअंक एकपासून अणुअंक दोनकडे जायला हवे. अणुअंक दोन असलेल्या अणूची सोबतच्या आकृतीप्रमाणे



प्रतिकृती बनवू या. केंद्रकामध्ये दोन प्रोटॉन्स व त्याच्याभोवती $1s$ या गोलाकार उपकक्षेत फिरणारे दोन इलेक्ट्रॉन्स. अशीच प्रतिकृती बोर्डावरही बनवू या. जितके प्रोटॉन्स केंद्रकात तितकेच इलेक्ट्रॉन्स केंद्रकाबाहेर! प्रतिकृती

छान आहे, पण निसर्गात असा अणू अस्तित्वात नाही. तेव्हा प्रतिकृती अमान्य! बोर्डावरचा एक प्रोटॉन व एक इलेक्ट्रॉन काढून घ्या.

अणुअंक 1 कडून अणुअंक 2 कडे जाण्याची सरळ वाट बंद झाली. मग थोडी वेगळी वाट शोधू या.



${}^2_1\text{H}$ ड्युटेरियम अणु प्रतिकृती

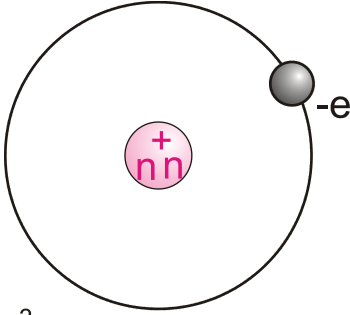
प्रतिकृतीतल्या अणूचा अणुअंक किती? फक्त एक. त्यामुळे $1s$ या गोलाकार उपकक्षेत फिरणारा एकच इलेक्ट्रॉन या अणूत आहे. बोर्डावरही काळ्या केंद्रकात एक निळा स्पंज - न्यूट्रॉन खोचू या.

निसर्गात असा अणू अस्तित्वात आहे का? आहे.

हा आहे ड्युटेरियमचा अणू. ड्युटेरियम ही काय भानगड आहे? प्रतिकृती नीट तपासू या. केंद्रकात प्रोटॉन्सची संख्या किती? फक्त एक. म्हणजे अणुअंक एक. अणुअंक एक असलेले मूलद्रव्य कोणते? हैड्रोजन! म्हणजे ड्युटेरियम हा हैड्रोजनचाच एक प्रकार. निसर्गात हैड्रोजन मूलद्रव्यामध्ये ड्युटेरियम अतिशय कमी प्रमाणात

अस्तित्वात असतो. याचा वस्तुमानांक 2 व अणुअंक बरी वाट सापडली! ही वाट कुठे घेऊन जाते ते पाहू या.

केंद्रकात एक प्रोटॉन व दोन न्यूट्रॉन घेऊ या. अणुअंक ${}^2_1\text{H}$ अजूनही एकच! त्यामुळे 1s या गोलाकार उपकक्षेत फिरणारा एकच इलेक्ट्रॉन.

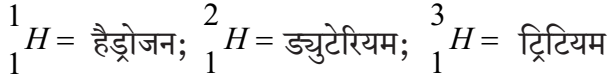


${}^3_1\text{H}$ ट्रिटियम अणु प्रतिकृती

बोर्डावर काळ्या केंद्रकात एक निळा न्यूट्रॉन देऊ म्हणजे आपले काम झाले.

निसर्गात हा अणू अस्तित्वात आहे कां? होय, पण अतिशय नगण्य प्रमाणात. हा हैड्रोजनचाच वस्तुमानांक 3 व अणुअंक 1 असलेला ट्रिटियमचा अणू!

म्हणजे निसर्गात हैड्रोजनचे तीन प्रकार असतात. आपल्या पद्धतीने त्यांचे लेखन असे असेल...



मूलद्रव्य कोणते आहे हे कशावरून ठरते. केवळ अणुअंकावरूनच!

प्रोटॉन्सची संख्या दर्शवणारा अणुअंक एकच, पण न्यूट्रॉन्सची संख्या वेगळी असल्याने अणुवस्तुमानांक मात्र वेगळा अशा एकाच मूलद्रव्याच्या भिन्न-घटक अणूंना एकमेकांची समस्थानके (*Isotopes*) असे म्हणतात.

आपण हैड्रोजनची तीन समस्थानके पाहिली.

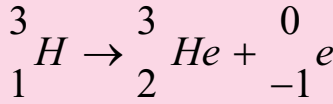
आता यापुढे न्यूट्रॉन्सची संख्या आणखी वाढवत जाऊन हैड्रोजनचे आणखी नवीन अणू (नवीन समस्थानके) मिळतील का? मुळीच नाही. आपण आधीच अतिरेक केला आहे. तो कसा ते पाहू.

केंद्रकामध्ये न्यूट्रॉन्सची संख्या आणि प्रोटॉन्सची संख्या यांचे गुणोत्तर म्हणजेच $N : Z$ हे गुणोत्तर कमी अणुअंकांच्या अणूंमध्ये सर्वसाधारणपणे $1 : 1$ असे असते. अणुअंक वाढत गेला म्हणजे हे गुणोत्तर वाढत वाढत $1.56 : 1$ इथपर्यंत वाढत जाते.

$N : Z$ हे गुणोत्तर योग्य नसलेले अणू अस्थिर असतात. त्यांच्या केंद्रकांमध्ये परिवर्तन होऊन अन्य मूलद्रव्यांची स्थिर केंद्रे बनतात. ट्रिटियमचा अणू अस्थिर असतो. त्याच्या केंद्रकामधील एका न्यूट्रॉनचे एक प्रोटॉन आणि एक इलेक्ट्रॉन असे परिवर्तन होते.



आहेच. तिच्यामुळे ट्रिटियमच्या अणूचे अणुअंक 2 असलेल्या हिलियमच्या अणूत रूपांतर होते.



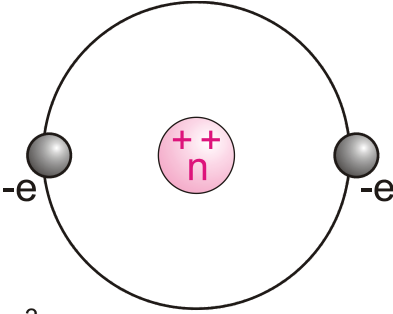
या प्रकारचे परिवर्तन फक्त केंद्रकांत होते. बाह्य परिस्थितीचा या परिवर्तनावर किंवा त्याच्या वेगावर काहीहि परिणाम होत नाही. अशा परिवर्तनांना किरणोत्सारिता (*Radioactivity*) असे नाव आहे.

आता आपल्या खेळांत आतापर्यंत काय घडले याचा आढावा घेऊ या. आपल्याला खालील गोष्टी समजल्या आहेत:

1. मोकळा (free) न्यूट्रॉन अस्थिर असतो.
2. मोकळे (free) प्रोटॉन्स व इलेक्ट्रॉन्स प्रचंड सुस्थिर असतात.
3. समस्थानकांची निर्माती.
4. किरणोत्सारितेचे एक कारण.

आपल्या खेळात आपण अणुअंक 1 पासून अणुअंक 2 पर्यंत पोहोचलो आहोत.

ट्रिटियमपासून किरणोत्सारितेमुळे निर्माण झालेल्या हिलियमच्या अणुवस्तुमानांक 3 व अणुअंक 2 असलेल्या अणूची ही प्रतिकृती सोबत आहे.



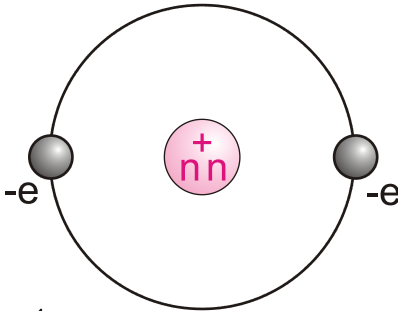
${}^3_2\text{He}$ हिलीअमची अणु प्रतिकृती

ट्रिटियमच्या केंद्रकामध्ये एक प्रोटॉन सामील करू या.

अणुवस्तुमानांक...4

अणुअंक.....2

1s उपकक्षेत 2 इलेक्ट्रॉन्स आहेत. हा निसर्गात सापडणारा हिलियम मूलद्रव्याचा वस्तुमानांक 4 असलेला अणू त्यामुळे प्रतिकृती मान्य!



${}^4_2\text{He}$ हिलीअमची अणु प्रतिकृती

बोर्डावर आपण ${}^3\text{He}$ आणि ${}^4\text{He}$ च्या प्रतिकृती करू या. हिलियम या

मूलद्रव्याचीसुद्धा ${}^3_2\text{He}$ अशी आणि ${}^4_2\text{He}$ अशी दोन समस्थानके असतात.

आता एक फार गंभीर प्रश्न उपस्थित झाला आहे. हैद्रोजनच्या अणूमध्ये धनभारित प्रोटॉनपासून ऋणभारित इलेक्ट्रॉन हा 10^{-8} सें.मी. एवढ्या अंतरावर आहे. पण या गतिमान इलेक्ट्रॉनला दोहोंमधील आकर्षक बल 10^{-8} सें.मी. या अंतरावर जखडून ठेवते आहे.

हेलियमच्या केंद्रकामध्ये मात्र दोन धनभारित प्रोटॉन्स एकमेकांपासून फक्त 10^{-13} सें.मी. एवढ्या अंतरावर आहेत. या दोन प्रोटॉन्समधील अपकर्षक बल हे हैद्रोजन अणूतल्या इलेक्ट्रॉन प्रोटॉन आकर्षक बलापेक्षा (एक हजार कोटी) एवढ्या पटीत हवे; म्हणजे फारच प्रचंड हवे. मग हेलियमचे केंद्रक सुस्थिर कसे ?

आतापर्यंत आपण धन आणि ऋण प्रभारांच्या आकर्षक व अपकर्षक बलांचाच विचार केला. प्रोटॉन आणि न्यूट्रॉन या केंद्रकीय कणांमध्ये विद्युतीय बलाच्या शंभरपट जोमदार असे आकर्षक बल काम करित असते. प्रोटॉन-प्रोटॉन, न्यूट्रॉन-न्यूट्रॉन किंवा प्रोटॉन-न्यूट्रॉन या कुठल्याही जोडीमध्ये हे बल असते. पण हे साधारणतः 2 किंवा 3×10^{-13} सें.मी. एवढ्या अंतरापर्यंतच काम करते. केंद्रीय कणांमधील अंतर यापेक्षा जास्त झाले म्हणजे हे बल शून्य होते.

केंद्रकीय कणांमधील अंतर 3×10^{-13} सें.मी. पेक्षा कमी

-विद्युतीय बलाच्या शंभरपट जोमदार आकर्षक बल

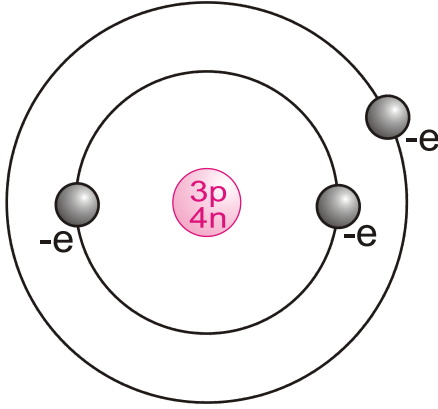
-याला केंद्रकीय बल म्हणतात.

केंद्रकीय कणांमधील अंतर 3×10^{-13} सें. मी. पेक्षा जास्त

-केंद्रकीय बल शून्य.

आतापर्यंत आपला खेळ फार हळूहळू चालला आहे. आपण अणुअंक 2 पर्यंतच मजल मारली आहे. पुढचा अणुअंक 3

आपण केंद्रकात 3 प्रोटॉन व 4 न्यूट्रॉन असलेल्या अणूची



${}^7_3\text{Li}$ लिथियमची अणु प्रतिकृती

प्रतिकृती काढली आहे.

पहिल्या कक्षेत इलेक्ट्रॉन

किती असतील? फक्त

दोन. हे दोन्ही 1s कक्षेत असतील.

अणूतल्या एकूण

इलेक्ट्रॉन्सची संख्या

किती? जितके केंद्रकात

प्रोटॉन्स आहेत तितकी

म्हणजे 3. अणूतल्या

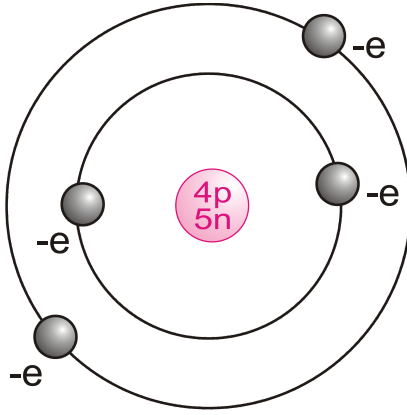
एकूण इलेक्ट्रॉन्सची संख्या

ठरवताना दरवेळी प्रोटॉन्सचा विचार केलाच पाहिजे कां? नाही. जितका अणुअंक तितके एकूण इलेक्ट्रॉन्स अणूमध्ये हवेत.

आता लिथियमच्या अणूतील तिसऱ्या इलेक्ट्रॉनला कोणत्या कक्षेत ठेवायचे? पहिली कक्षा भरली आहे. तेव्हा दुसऱ्या कक्षेत व तेही 2s या उपकक्षेत. आपण त्याप्रमाणे प्रतिकृती काढली आहे. व निसर्गात असा अणू अस्तित्वात आहे, म्हणजे आपली प्रतिकृती बरोबर आहे.

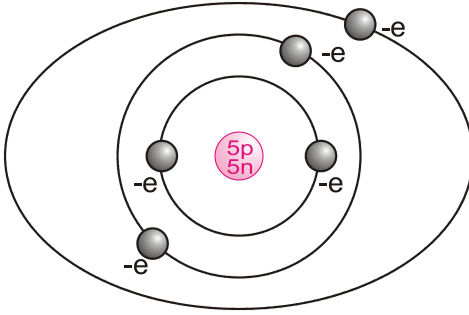
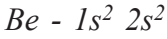
आता लिथियमचे इलेक्ट्रॉन संरूपण कसे लिहायचे. उपकक्षेच्या वरच्या बाजूस किती इलेक्ट्रॉन्स समाविष्ट आहेत ती संख्या लिहून! लिथियमचे संरूपण कसे आहे:





${}^9_4\text{Be}$ बेरिलियमची अणु प्रतिकृती

संरूपण असे,



${}^{10}_5\text{B}$ बोरॉन अणु प्रतिकृती

1s उपकक्षेत 2

2s उपकक्षेत 2

2p उपकक्षेत 1

बोरॉनचे संरूपण $B - 1s^2, 2s^2, 2p^1$

अणुअंक 4 असलेले मूलद्रव्य बेरिलियम केंद्रकात 4 प्रोटॉन्सच्या बरोबर 5 न्यूट्रॉन्स.

एकूण इलेक्ट्रॉन्सची संख्या 4. त्यापैकी दोन 1s या उपकक्षेत व दोन 2s या उपकक्षेत.

निसर्गात अस्तित्वात असलेल्या या अणूची ही योग्य प्रतिकृती. बेरिलियमचे

अणुअंक 5.

मूलद्रव्य बोरॉन.

केंद्रकामध्ये 5

प्रोटॉन व 5

न्यूट्रॉन. केद्रबाह्य 5

इलेक्ट्रॉन्सचे वितरण

असे

कशा प्रतिकृती करायच्या ते आता आपल्या लक्षात आले आहे. पुढील प्रतिकृतीसाठी आपण फक्त केंद्रबाह्य इलेक्ट्रॉन्सची संख्या आणि वितरण लक्षात घेऊ. केंद्रकामधील वाढीव प्रोटॉन्स व न्यूट्रॉन्स आपापली काळजी घेतील असे समजू या.

आणखी काही मूलद्रव्यांच्या अणूंची संरूपणे आपण लिहू या.

Carbon	C	$1s^2$	$2s^2$	$2p^2$		
Nitrogen	N	$1s^2$	$2s^2$	$2p^3$		
Oxygen	O	$1s^2$	$2s^2$	$2p^4$		
Fluorine	F	$1s^2$	$2s^2$	$2p^5$		
Neon	Ne	$1s^2$	$2s^2$	$2p^6$		
Sodium	Na	$1s^2$	$2s^2$	$2p^6$	$3s^1$	
Silicon	Si	$1s^2$	$2s^2$	$2p^6$	$3s^2$	$3p^2$
Chlorine	Cl	$1s^2$	$2s^2$	$2p^6$	$3s^2$	$3p^5$

बोर्डाचा वापर करून ही संरूपणे दृश्य (Visual) पद्धतीने पक्की करून घेता येतात. आपण हातानें ही संरूपणे बोर्डावर तयार केली आणि मुलांकडूनही तशी करून घेतली तर मुलांच्या आकलनात संरूपणे येण्यासाठी फार उपयोग होईल.

अणुसंरचना (Atomic Structure) म्हणजे वेगवेगळ्या अणूमधल्या इलेक्ट्रॉन्सचे वेगवेगळ्या कक्षा व उपकक्षांमध्ये कसे वितरण (Distribution) झालेले आहे त्याचे वर्णन.

पहिल्या काही मूलद्रव्यांच्या अणुसंरचनेचा तक्ता आपण खेळाच्या या शेवटच्या भागात करू.

मूलद्रव्य वितरण	अणुअंक	उपकक्षांमधील इलेक्ट्रॉन्सचे					
		1s	2s	2p	3s	3p	4s
हायड्रोजन	1	1					
हेलियम	2	2					
लिथियम	3	2	1				
बेरिलियम	4	2	2				
बोरॉन	5	2	2	1			
कार्बन	6	2	2	2			
नायट्रोजन	7	2	2	3			
ऑक्सिजन	8	2	2	4			
फ्ल्युरीन	9	2	2	5			
निऑन	10	2	2	6			
सोडियम	11	2	2	6	1		
मॅग्नेशियम	12	2	2	6	2		
अॅल्युमिनियम	13	2	2	6	2	1	
सिलिकॉन	14	2	2	6	2	2	
फॉस्फरस	15	2	2	6	2	3	
सल्फर	16	2	2	6	2	4	
क्लोरिन	17	2	2	6	2	5	
अरगॉन	18	2	2	6	2	6	
पोटॅशियम	19	2	2	6	2	6	1*





दिमित्री मॅडेलीफ
(1834-1907)

मागील प्रकरणाच्या शेवटच्या तक्त्यांत आपण कांहीतरी फ्लेक्सवाफ्लेक्स केली आहे कां? हल्लीच्या मुलांच्या साध्या मराठीत विचारायचं म्हणजे आपण 'चीटिंग' केलं आहे कां?

वरकरणी असं दिसतं आहे. इलेक्ट्रॉन्सचा भरणा 3d या उपकक्षेत करायच्या आधीच आपण 4s या उपकक्षेत एका इलेक्ट्रॉनला जागा दिली. पण खरं सांगायचं तर आपण असं कां केलं त्याला अगदी सुयोग्य कारणं आहेत. ती समजावून घेतघेत आपण एक नवीन खेळ सुरू करणार आहोत. त्याचं नाव आहे. 'आवर्तसारिणी'

जवळजवळ 92 वेगवेगळी मूलद्रव्ये निसर्गात आढळतात. यांचा अभ्यास वेगवेगळ्या 92 पद्धतींनी करायचा कां? अर्थातच तशी गरज नाही. समान गुणधर्मांच्या मूलद्रव्यांचे गट करून त्या गटाचा अभ्यास करणं सोपं पडेल.

गटांच्या अशा वर्गीकरणाला सुरुवात डोबरायनर, न्यूलॅंडस् इत्यादी शास्त्रज्ञांनी केली, पण रसायनशास्त्राच्या अभ्यासकांना अतिशय उपयुक्त ठरेल असा या वर्गीकरणाचा तक्ता 'आवर्तसारिणी' च्या स्वरूपात मॅडेलीफ या प्रतिभाशाली रशियन शास्त्रज्ञाने प्रथम तयार केला.

मॅडेलीफच्या आवर्तसारिणीचे सूत्र समजावून घेण्यासाठी आपण एका छोट्याशा मुद्याची माहिती करून घेतली पाहिजे.

मूलद्रव्यांची मांडणी त्यांच्या अणुक्रमांकांच्या चढत्या क्रमाने केलेली असते. अठरा स्तंभाना "गण" असे म्हणतात. सात आडव्या ओळींना "आवर्तने" असे म्हणतात. दुसरे व तिसरे आवर्तन ही "लघु आवर्तने" (८ मूलद्रव्यांची) आहेत. चवथे व पाचवे आवर्तन ही "दीर्घ आवर्तने" (१८ मूलद्रव्यांची) आहेत. सहावे आवर्तन हे प्रदीर्घ आवर्तन (३२ मूलद्रव्यांचे) आहे. डावीकडून उजवीकडे धातुगुण कमी कमी होतो. अधातुगुण वाढत जातो.

PERIOD	GROUP		GROUP NUMBERS IUPAC RECOMMENDATION (1985)										GROUP NUMBERS CHEMICAL ABSTRACT SERVICE (1986)														
	1	IA	1	2	3	IIIB	4	IVB	5	VB	6	VIB	7	VIIIB	8	9	VIIIB										
1	1	1.0079	H																								
		HYDROGEN		2	IIA																						
2	3	6.941	Li	4	9.0122	Be																					
		LITHIUM		BERYLLIUM																							
3	11	22.990	Na	12	24.305	Mg																					
		SODIUM		MAGNESIUM																							
4	19	39.098	K	20	40.078	Ca	21	44.956	Sc	22	47.867	Ti	23	50.942	V	24	51.996	Cr	25	54.938	Mn	26	55.845	Fe	27	58.933	Co
		POTASSIUM		CALCIUM		SCANDIUM		TITANIUM		VANADIUM		CHROMIUM		MANGANESE		IRON		COBALT									
5	37	85.468	Rb	38	87.62	Sr	39	88.906	Y	40	91.224	Zr	41	92.906	Nb	42	95.94	Mo	43	(98)	Tc	44	101.07	Ru	45	102.91	Rh
		RUBIDIUM		STRONTIUM		YTRIUM		ZIRCONIUM		NIObIUM		MOLYBDENUM		TECHNETIUM		RUTHENIUM		RHODIUM									
6	55	132.91	Cs	56	137.33	Ba	57-71	La-Lu	72	178.49	Hf	73	180.95	Ta	74	183.84	W	75	186.21	Re	76	190.23	Os	77	192.22	Ir	
		CAESIUM		BARIUM		Lanthanides		HAFNIUM		TANTALUM		TUNGSTEN		RHENIUM		OSMIUM		IRIDIUM									
7	87	(223)	Fr	88	(226)	Ra	89-103	Ac-Lr	104	(261)	Rf	105	(262)	Db	106	(266)	Sg	107	(264)	Bh	108	(277)	Hs	109	(268)	Mt	
		FRANCIUM		RADIUM		Actinides		RUTHERFORDIUM		DUBNIUM		SEABORGIUM		BOHRIUM		HASSIUM		MEITNERIUM									

Relative atomic mass is shown with five significant figures. For elements have no stable nuclides, the value enclosed in brackets indicates the mass number of the longest-lived isotope of the element.

However three such elements (Th, Pa, and U) do have a characteristic terrestrial isotopic composition, and for these an atomic weight is tabulated.

LANTHANIDE

57	138.91	58	140.12	59	140.91	60	144.24	61	(145)	62	150.36
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm						
LANTHANUM	CERIUM	PRASEODYMIUM	NEODYMIUM	PROMETHIUM	SAMARIUM						

ACTINIDE

89	(227)	90	232.04	91	231.04	92	238.03	93	(237)	94	(244)
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu						
ACTINIUM	THORIUM	PROTACTINIUM	URANIUM	NEPTUNIUM	PLUTONIUM						

आवर्तसारिणी दीर्घश्रेणी

पहिला "गण" अल्कली धातू उत्तम क्षपणक

दुसरा "गण" अल्कली मृदा धातू बऱ्यापैकी क्षपणक

सतरावा "गण" हॅलोजेन्स उत्तम ऑक्सिडीकारक

अठरावा "गण" निष्क्रिय वायू

धातुगुण इलेक्ट्रॉन्स देऊन टाकण्याची प्रवृत्ती-क्षपणक

अधातुगुण इलेक्ट्रॉन्स ग्रहण करण्याची प्रवृत्ती-ऑक्सिडीकारक

										18 VIIIA					
										2 4.0026					
										He					
										HELIUM					
										13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA	18 VIIIA
										5 10.811	6 12.011	7 14.007	8 15.999	9 18.998	10 20.180
										B	C	N	O	F	Ne
										BORON	CARBON	NITROGEN	OXYGEN	FLUORINE	NEON
										13 26.982	14 28.086	15 30.974	16 32.065	17 35.453	18 39.948
										Al	Si	P	S	Cl	Ar
										ALUMINIUM	SILICON	PHOSPHORUS	SULPHUR	CHLORINE	ARGON
10	11	IB	12	IIB											
28 58.693	29 63.546	30 65.39	31 69.723	32 72.64	33 74.922	34 78.96	35 79.904	36 83.80							
Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr							
NICKEL	COPPER	ZINC	GALLIUM	GERMANIUM	ARSENIC	SELENIUM	BROMINE	KRYPTON							
46 106.42	47 107.87	48 112.41	49 114.82	50 118.71	51 121.76	52 127.60	53 126.90	54 131.29							
Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe							
PALLADIUM	SILVER	CADMIUM	INDIUM	TIN	ANTIMONY	TELLURIUM	IODINE	XENON							
78 195.08	79 196.97	80 200.59	81 204.38	82 207.2	83 208.98	84 (209)	85 (210)	86 (222)							
Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn							
PLATINUM	GOLD	MERCURY	THALLIUM	LEAD	BISMUTH	POLONIUM	ASTATINE	RADON							
110 (281)	111 (272)	112 (285)		114 (289)											
Uuu	Uuu	Uub		Uuq											
UNUNNIUM	UNUNUNIUM	UNUNBIUM		UNUNQUADIUM											

63 151.96	64 157.25	65 158.93	66 162.50	67 164.93	68 167.26	69 168.93	70 173.04	71 174.97
Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
EUROPIUM	GADOLINIUM	TERBIUM	DYSPROSIUM	HOLMIUM	ERBIUM	THULIUM	YTTERBIUM	LUTETIUM

95 (243)	96 (247)	97 (247)	98 (251)	99 (252)	100 (257)	101 (258)	102 (259)	103 (262)
Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
AMERICIUM	CURIUM	BERKELIUM	CALIFORNIUM	EINSTEINIUM	FERMIUM	MENDELEVIUM	NOBELIUM	LAWRENCIUM

समस्थानक ही आधुनिक कल्पना त्यावेळी माहिती नव्हती. त्यामुळे मूलद्रव्यांचा 'अणुभारांक' (Atomic Weight) ठरवला जायचा. हा अणुभारांक कित्येक वेळा अपूर्णाकात असायचा. उदा. क्लोरीन या मूलद्रव्याचा अणुभारांक 35.5 आहे. आपल्या हल्लीच्या माहितीनुसार 35.5 हा अणुभारांक निसर्गात आढळणाऱ्या Cl^{35} आणि Cl^{37} या दोन समस्थानकांची प्रमाणित सरासरी (Weighted Average) आहे. मुद्याचा भाग म्हणजे मॅडेलीफच्या वेळी फक्त 'अणुभारांक' माहिती होते.

अणुवस्तुमानांक ही संकल्पना आधुनिक आहे.

मॅडेलीफची आवर्तसारिणी म्हणजे मूलद्रव्यांची वाढत्या 'अणुभारांका'नुसार केलेली क्रमरचना!

या क्रमरचनेच्या मुळाशी आवर्तीफल (Periodic Function) ही संकल्पना आहे. समान रासायनिक गुणधर्माची मूलद्रव्ये या क्रमरचनेत एका विशिष्ट वारंवारितेने आढळतात. वाढत्या अणुभारांकानुसार मूलद्रव्यांची नोंद ओळीमध्ये करत जायचे आणि समान रासायनिक गुणधर्मांच्या मूलद्रव्यांना एकाखाली एक अशा स्तंभामध्ये नोंदवायचे अशी ही रचना आहे. ओळींना आवर्तने (Periods) आणि स्तंभांना गट (Group) असे म्हणतात.

आवर्तनामध्ये डावीकडून उजवीकडे रासायनिक गुणधर्म बदलत असतात. हा बदल धातुगुणांपासून अधातुगुणांकडे असा असतो. गटांमध्ये आपोआपच समान गुणधर्माची मूलद्रव्ये असतात. आवर्तीफलाचा प्रत्यय गटांमुळे येतो.

आधुनिक आवर्तसारिणीची रचना वाढत्या अणुअंकानुसार केली आहे. आवर्तने (Periods) व गट (Groups) या संकल्पना कायम आहेत.

आधुनिक आवर्तसारिणीत मँडेलीफच्या आवर्तसारिणीतील काही त्रुटी दूर झालेल्या आहेत.

सोबतच्या आधुनिक आवर्तसारिणीकडे नजर टाकल्यावर आपल्या मनात या खेळांतील खालील प्रश्न उभे राहतात.

1. बोहरच्या $2n^2$ सूत्राप्रमाणे 'आवर्तने' 2, 8, 18, 32, 50 अशा मूलद्रव्य संख्यांची असायला हवीत. वास्तवात ती 2, 8, 8, 18, 18, 32, 32... अशी आहेत असे का घडावे?
2. आवर्तन सुरू होण्याचा नियम काय? आवर्तन संपण्याचा नियम काय?
3. मँडेलीफसारख्या कुणा अन्य शास्त्रज्ञाने किंवा शास्त्रज्ञांनी ही रचना निर्माण केली आहे का? किंवा तिच्यामागे आपण समजावून घेऊ शकू असे काही साधे निसर्गनियम आहेत?

या प्रश्नांची उत्तरे आपल्याला खेळातच मिळणार आहेत. खेळ म्हटला की, खेळाचे नियम हे आलेच! आपल्या खेळाचे नियम असे आहेत –

- a) वाढत्या अणुअंकांप्रमाणे मूलद्रव्यांची रचना करायची.
- b) अणूमध्ये एका वेळी एक इलेक्ट्रॉन समाविष्ट होईल, तो इलेक्ट्रॉन. उपलब्ध असलेल्या कमीतकमी ऊर्जास्थितीत (उपकक्षेत) सामील होईल. या नियमाला 'ऑफबो' चा नियम म्हणतात.
- c) n क्रमांकाची कक्षा भरायला सुरुवात झाली की, n क्रमांकाचे आवर्तन सुरू होते.
- d) सर्व उपकक्षांची वाढत्या ऊर्जाक्रमाने मांडणी करण्यासाठी कोणतेही सैद्धांतिक सूत्र नाही, आपल्या खेळात आपण वापरत असलेला उर्जाक्रम केवळ प्रयोगांनीच ठरलेला आहे

e) आपल्या खेळात हा प्रयोगाधिष्ठित उर्जाक्रम पाळू या. तो असा आहे.

1s			
2s	2p		
3s	3p		
4s	3d	4p	
5s	4d	5p	
6s	5d	4f	6p
7s	6d	5f	7p

अणुनिर्मिती प्रतिकृती या आपल्या पहिल्या खेळांत आपण आवर्तसारिणी अंशतः निर्माण केली होती.

हैड्रोजन (H) व हेलियम (He) यांच्या निर्मिती नंतर पहिली $1s$ कक्षा भरली. आता नवीन इलेक्ट्रॉनला जागा दुसऱ्या कक्षेत! म्हणजे पहिले आवर्तन संपले. ते फक्त दोन मूलद्रव्यांचे आहे.

दुसऱ्या कक्षेत एक एक इलेक्ट्रॉन घायला सुरुवात केली की प्रथम लिथियम (Li) व नंतर बेरिलियम (Be) या दोन मूलद्रव्यांच्या निर्मितीमध्ये दुसऱ्या कक्षेतील $2s$ ही उपकक्षा भरते. त्यानंतरची कमीतकमी उर्जेची उपकक्षा म्हणजे $2p$ ही आहे. $2p$ मध्ये एक-एक इलेक्ट्रॉन समाविष्ट होताना बोरॉन (B), कार्बन (C), नायट्रोजन (N), ऑक्सिजन (O), फ्ल्युओरिन (F) आणि निऑन (Ne) या सहा मूलद्रव्यांची निर्मिती होते व दुसरी कक्षा पूर्णपणे भरते. दुसरे आवर्तन आठ मूलद्रव्यांचे आहे.

साहजिकच आता तिसऱ्या कक्षेत इलेक्ट्रॉन्सना समाविष्ट करून घायला हवे म्हणजे तिसरे आवर्तन सुरू. तिसऱ्या कक्षेतील

3s या उपकक्षेत एकएक इलेक्ट्रॉन सामील झाल्याने अनुक्रमे सोडियम (Na) व मॅग्नेशियम (Mg) यांची निर्मिती होऊन 3s ही उपकक्षा भरते. आता कमीत कमी ऊर्जेची उपकक्षा 3p ही आहे. तिच्यात एक एक इलेक्ट्रॉन समाविष्ट होताना अॅल्युमिनियम (Al), सिलिकॉन (Si), फॉस्फरस (P), सल्फर (S), क्लोरिन (Cl), आणि अरगॉन (Ar) ही सहा मूलद्रव्ये निर्माण होतात व 3p ही उपकक्षा भरते.

आता पुढच्या मूलद्रव्याच्या निर्मितीसाठी 3d या उपकक्षेत इलेक्ट्रॉन सामील करायचे का? नाही! कारण 3d ही उपकक्षा 4s या उपकक्षेपेक्षा जराशी जास्त उर्जेची आहे. 4s या उपकक्षेत इलेक्ट्रॉन समाविष्ट करायचे म्हणजे चवथ्या आवर्तनाला सुरुवात करायची. म्हणून तिसरे आठच मूलद्रव्यांचे आवर्तन अॅरगॉन (Ar) या मूलद्रव्याने संपते.

4s या उपकक्षेत इलेक्ट्रॉन्स सामील करून आपण पोटॅशियम (K) व कॅल्शियम (Ca) यांची निर्मिती केली आणि 4s ही उपकक्षा भरली.

कॅल्शियम नंतर इलेक्ट्रॉन्स 4p या उपकक्षेत समाविष्ट करायचे कां? नाही. कारण 3d ही उपकक्षा तिच्यापेक्षा कमी व उपलब्ध (न भरलेल्या) उपकक्षांमध्ये कमीत कमी ऊर्जेची आहे.

त्यामुळे कॅल्शियमनंतर 3d या उपकक्षेत एक एक इलेक्ट्रॉन सामील होत होत Sc (स्कॅंडियम), Ti (टिटानियम), V (व्हॅनेडियम), Cr (क्रोमियम), Mn (मॅंगनीज), Fe (आयर्न), Co (कोबाल्ट), Ni (निकेल), Cu (कॉपर) आणि Zn (झिंक) या दहा मूलद्रव्यांची निर्मिती होते आणि 3d उपकक्षा भरते.

रासायनिक गुणधर्म हे बाह्यकक्षेतल्या इलेक्ट्रॉन्सच्या संख्येवर अवलंबून असतात. कॅल्शियम पासून झिंकपर्यंत बाह्यकक्षेतील

इलेक्ट्रॉनसंख्या दोन. त्यामुळे या सर्वांचे गुणधर्म कॅल्शियम धातूसारखे आहेत. Sc पासून Zn पर्यंतची दहाही मूलद्रव्ये धातू (Metals) आहेत.

बाह्यकक्षा अपुरी राहून आंतरकक्षा $3d$ भरल्यामुळे निर्माण होणाऱ्या Sc ते Zn या मूलद्रव्यांना संक्रामक (Transition) मूलद्रव्ये म्हणतात.

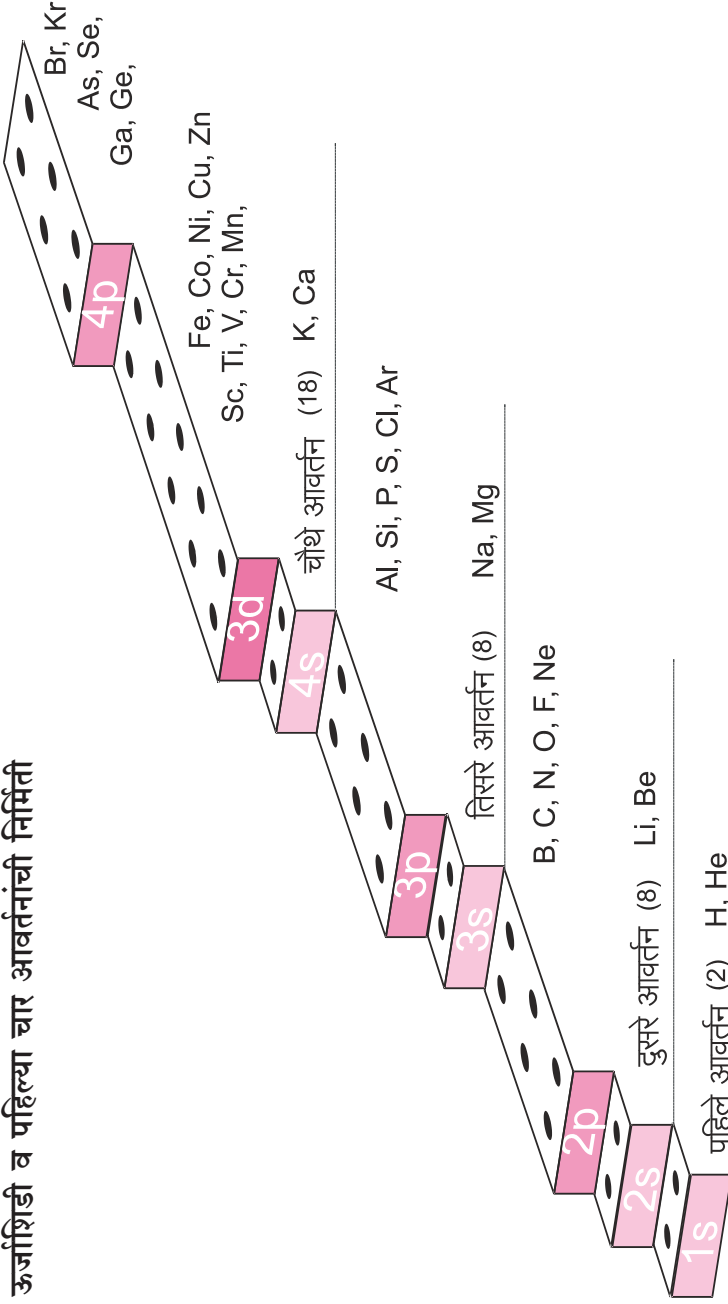
यांच्या निर्मितीनंतर $4p$ ही उपकक्षा भरू लागते. गॅलियम (Ga), जर्मेनियम (Ge), आर्सेनिक (As), सेलेनियम (Se), ब्रोमिन (Br), आणि क्रिप्टॉन (Kr) यांची निर्मिती होते. Ga पासून Kr पर्यंत बाह्य इलेक्ट्रॉन्सची संख्या बदलती असल्याने (3 ते 8) रासायनिक गुणधर्मांमध्ये बदल होत राहतो.

पांचव्या आवर्तनात चवथ्याचीच पुनरावृत्ती होते. Rb आणि Sr यांच्या निर्मितीत $5s$ उपकक्षा भरते. $Y, Zr, Nb, Mo, Tc, Ru, Rh, Pd, Ag, Cd$ यांच्या निर्मितीने $4d$ कक्षा भरते. हा संक्रामक मूलद्रव्यांचा दुसरा गट. त्यानंतर In, Sn, Sb, Te, I आणि Xe यांच्या निर्मितीत $5p$ ही उपकक्षा भरते. हेही आवर्तन 18 मूलद्रव्यांचेच आहे.

सहावे आवर्तन 32 मूलद्रव्यांचे आहे, त्याची निर्मिती कशी होते?

सीझियम (Cs), आणि बेरियम (Ba), यांच्या निर्मितीत $6s$ ही उपकक्षा भरून जाते. आता उपलब्ध उपकक्षा आहे $5d$. तिच्यात एक इलेक्ट्रॉन सामील होऊन लॅंथॅनम (La) ची निर्मिती होते. पण इतके होता होता एक विचित्र प्रकार घडतो. $4f$ या उपकक्षेची ऊर्जा $5d$ या उपकक्षेच्या ऊर्जेपेक्षा कमी होते. या घटनेच्या क्लिष्ट कारणांचा तपास आपण करणार नाही आहोत. पण La नंतर आता $4f$ उपकक्षा भरू लागते आणि सीरियम (Ce) पासून

ऊर्जाशिडी व पहिल्या चार आवर्तनांची निर्मिती



लुटेथियम (*Lu*) अशा 14 मूलद्रव्यांची निर्मिती होते. या 14 मूलद्रव्यांना लॅथनाइडस् (*Lanthanides*) म्हणतात. त्यानंतर परत 5d ही उपकक्षा भरू लागते. व *Hf, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt, Au* व *Hg* या आणखी नऊ मूलद्रव्यांची निर्मिती होते.

Ba नंतर बाह्य कक्षेतील इलेक्ट्रॉन्सची संख्या दोनच राहते आणि 5d व 4f या उपकक्षा भरताना 24 मूलद्रव्यांची निर्मिती होते. त्यांना आंतरसंक्रामक (*Inner Transition*) मूलद्रव्ये म्हणतात.

आता उपलब्ध ऊर्जाकक्षा 6p आहे. बाह्य कक्षेतील इलेक्ट्रॉन्सची संख्या बदलत जाते. (3 ते 8) आणि थॅलियम (*Tl*), शिसे (*Pb*), बिस्मथ (*Bi*), पोलोनियम (*Po*), अॅस्टाटाईन (*At*), आणि रेडॉन (*Rn*) या बदलत्या रासायनिक गुणधर्मांच्या मूलद्रव्यांची निर्मिती होते.

सातव्या आवर्तनाच्या निर्मितीत परत सहाव्या आवर्तनाची पुनरावृत्ती होते. *Fr* (फ्रँसियम) आणि *Ra* (रेडियम) यांच्यामुळे 7s उपकक्षा भरते. अॅक्टिनियम (*Ac*), याची निर्मिती 6d मध्ये एक इलेक्ट्रॉन सामील होऊन होते. त्यानंतर मात्र 5f ही उपकक्षा भरायला लागते आणि 14 अॅक्टिनाइडस् (*Actinides*) ची निर्मिती होते. त्यापैकी थोरियम (*Th*), प्रोटॅक्टिनियम (*Pa*), आणि युरेनियम (*U*) एवढीच मूलद्रव्ये निसर्गात आढळतात. नेपच्युनियम (*Np*) आणि प्लुटोनियम (*Pu*) ही अणुभट्ट्यांमध्ये निर्माण होतात. यानंतरची मूलद्रव्ये मानवनिर्मित आहेत. त्यांचा अभ्यास आपण पुढे केव्हातरी करू...

आवर्तसारिणी ही आपल्या आवाक्याबाहेरच्या वैज्ञानिक प्रणालिंची जरूर न लागता आपल्याला समजेल इतक्या सहजपणे; पण अनिवार्यपणे निष्पन्न होते, ही फार सुखद गोष्ट आहे.

पारिभाषिक शब्दांची सूची

अखंडित - (Continuous)	कुलोम - (Coulomb)
अग्नि - (Fire)	कॅथोड किरण - (Cathode Rays)
अणुसंरचना - (Atomic Structure)	क्लृप्ती - (Device)
अणू - (Atom)	क्षपणक - (Reducing Agent)
अणू वस्तुमान एकक - (Atomic, Mass unit)	खंडित - (Discrete)
अधातू - (Non-metal)	गट - (Group)
अधिवास - (Orbital)	गुणोत्तर - (Ratio)
अनपघटनी - (Non Electrolytic)	गृहीतक - (Hypothesis)
अपकर्षण - (Repulsion)	घटना - (Phenomenon)
अपघटन - (Dissociation)	घनता - (Density)
अपघटनी - (Electrolytic)	चक्रीय संवेग - (Angular Momentum)
अपस्करण - (Dispersion)	जोडगोळी- (Dipole)
अभिक्रियाकारक- (Reactants)	तथ्य - (Reality)
अमृत- (Elixir of Life)	तरंगलांबी - (Wave length)
अवतरंग - (Transverse Waves)	थरार - (Thrill)
अविनाशी- (Indestructible)	दाट - (Dense)
आंतरिक - (Internal)	दाब- (Pressure)
आकर्षण - (Attraction)	दिक् - (Space)
आकार - (Shape)	दिष्टधारा - (Direct Current)
आकारमान - (Size or Volume)	दुर्वाहक - (Bad Conductors)
आयन - (Ion)	द्विअणू - (Diatomic)
आयाम - (Amplitude)	द्वैती - (Dual)
आवर्तन - (Period)	धन किंवा ऋण टोक - (Electrode)
आवर्तीफल - (Periodic Function)	धनटोक - (Anode)
उत्पादिते - (Products)	धनायन - (Cation)
ऊर्जा - (Energy)	धातू - (Metal)
ऋणटोक - (Cathode)	निष्कृती - (Cancellation)
ऋणायन - (Anion)	पंचमहाभूते - (Quinta Essentia)
ऑक्सिडीकारक - (Oxidizing Agent)	पदार्थकण - (Material Particle)
कंपन / कंप्रता - (Frequency)	परिस - (Philosopher's Stone)
काल - (Time)	पुंज गतिशास्त्र - (Quantum Mechanics)
किरणोत्सारिता - (Radioactivity)	पुंजीभवन, पुंजीकरण - (Quantization)

पृथ्वी - (Earth)
पोकळी, निर्वात- (Vacuum)
प्रकाशविद्युत् परिणाम - (Photoelectric Effect)
प्रकाशसंश्लेषण - (Photosynthesis)
प्रतिकृती - (Model)
प्रमाणित सरासरी - (Weighted Average)
प्रारण - (Radiation)
बिंदू - (Point)
महत्ताश्रेणी - (Order of Magnitude)
मुलायम - (Smooth)
मूलके - (Radicals)
मूलद्रव्य - (Element)
मूलभूत कण - (Fundamental Particles)
मोकळा - (Free)
मोल - (Mole)
रेणू - (Molecule)
रेषा - (Line)
रोमांचीकरण - (Romanticization)
लोलक - (Prism)
वर्णपंक्तीमापी - (Spectrometer)
वर्णपट, वर्णपंक्ती - (Spectrum)
वस्तुमान - (Mass)
विकिरण - (Scattering)
वितरण - (Distribution)
विद्युत् अपघटन - (Electrolysis)
विद्युत् रासायनिक स्थिरांक- (Electrochemical Equivalent)
विद्युत् विलेपन - (Electroplating)
विद्युन्मोच नळी - (Gaseous Discharge Tube)
विभवांतर - (तेश्रीरसश)
विभाज्यता - (Divisibility)
विलग - (Discrete)
विस्फारणे- (To expand)
वेग - (Velocity)
वैचारिक प्रयोग - (Thought Experiment)

संकोचक- (Compressor)
संकोचणे- (To contract)
संघात - (System)
संज्ञा- (Symbol)
संमत - (Allowed)
संरचना - (Structure)
सममूल्यभार - (Equivalent Weight)
समसूत्री - (Isomer)
सर्पिलाकार - (Spiral)
सुवाहक - (Good Conductors)
सुस्थिर - (Stable)
स्थलकाल - (Space-time)
हरितद्रव्ये - (Chlorophyll)